ÓRGANO DE DIVULGACIÓN DE LAS DIVISIONES DE INGENIERÍA, CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES Y CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD

# EPISTEMUS

## CIENCIA, TECNOLOGÍA Y SALUD

ISSN: 2007-4530

UNIVERSIDAD DE SONORA, DICIEMBRE 2013, NÚMERO 15

"El saber de mis hijos hará mi grandeza"

## Modelación matemática aplicada a la salud



Indexada en: latindex

Índice de Revistas Latinoamericanas en Ciencias PERIÓDICA




"El saber de mis hijos hará mi grandeza"

# Universidad de Sonora

## UNIDAD REGIONAL CENTRO

## DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD

# Posgrados incluidos en el Padrón Nacional de Posgrados de Calidad de CONACYT

### PROGRAMA DE POSGRADO EN CIENCIAS DE LA SALUD ESPECIALIZACIÓN EN INMUNOHEMATOLOGÍA DIAGNÓSTICA

**Objetivo General**

Formar recursos humanos con capacidad para prestar servicios de diagnóstico hematológico e inmunológico, capaces de proponer alternativas para la investigación de problemas de diagnóstico así como para transmitir sus conocimientos mediante actividades docentes y de difusión de información científica.

### MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA SALUD

**Objetivo General**

Formar recursos humanos con capacidad para realizar investigaciones de alto nivel en el campo de la salud y para transmitir sus conocimientos mediante actividades docentes y de difusión de resultados, con el interés de que su formación tenga un impacto decisivo en el perfil epidemiológico poblacional.

### DOCTORADO EN CIENCIAS (QUÍMICO BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD)

**Objetivo General**

Formar personal altamente calificado en las áreas de química, biología y ciencias de la salud, con una visión interdisciplinaria, que contribuya a solventar la problemática de salud.

### PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS Y TECNOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS (CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE GRANOS; CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE PRODUCTOS MARINOS)

**Objetivo General**

Formación de personal calificado y competente de alto nivel que sea capaz de resolver problemas alimentarios en los sectores de investigación, educación, de los sectores público y privado, vinculados con el manejo, almacenamiento, conservación y procesamiento de granos o productos marinos.

### PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS DE LOS ALIMENTOS (CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE GRANOS; CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE PRODUCTOS MARINOS)

**Objetivo General**

Formación de personal de alto nivel académico que sea capaz de generar conocimiento, a través del planteamiento, diseño y desarrollo de proyectos de investigación relevantes al desarrollo de la ciencia de los alimentos y a la resolución de la problemática de la producción y procesamiento de alimentos

### POSGRADO EN BIOCIENCIAS (MAESTRÍA)

**Objetivo general**

Formar recursos humanos con una visión amplia de su área de especialidad y con capacidad de identificar problemas y procesos básicos y aplicados en las diferentes disciplinas de las ciencias biológicas. Tendrá la capacidad de desarrollarse en áreas emergentes de las biociencias, combinando diferentes aproximaciones, conceptualizaciones y niveles jerárquicos de la biología y áreas de especialización del posgrado

### POSGRADO EN BIOCIENCIAS (DOCTORADO)

**Objetivo General**

Formar investigadores de alto nivel con una amplia capacidad de realizar investigación independiente, la cual contribuya significativamente a la generación, innovación y adaptación de conocimientos científicos y/o tecnológicos en su área de especialización.

Posgrados no incluidos en el Padrón Nacional de Posgrados de Calidad de CONACYT

### MAESTRÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS (No incluida en la padrón)

**Objetivos Generales**

1. Formar profesores investigadores con una alta preparación académica y capacidad innovadora, capaces de generar y transmitir el conocimiento científico; aptos para crear y desarrollar proyectos y programas de investigación científica y tecnológica, tendientes a mejorar la productividad agropecuaria nacional.

2.- Preparar personal altamente capacitado para ejercer labores docentes de licenciatura y posgrado en las Instituciones de Educación Superior dedicadas a la generación de conocimientos y tecnología en las áreas de fisiología vegetal, genética y mejoramiento de plantas, manejo de agostaderos, praderas irrigadas, producción de carne y leche, nutrición y reproducción animal.



**http://www.investigacion.uson.mx/programas-posgrado.htm**

**DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGOCAS Y DE LA SALUD**

Rosales y Blvd. Luis Encinas., Edificio 10k, Hermosillo, Sonora, México, C.P. 83000, Tel. (662) 259-21-62 y 259-22-59



# CONTENIDO



# EPISTEMUS

## UNIVERSIDAD DE SONORA

EPISTEMUS. Año 7, No. 15, julio-diciembre 2013, es una publicación semestral arbitrada y es editada por la Universidad de Sonora a través de las Divisiones de Ingeniería, Ciencias Exactas y Naturales y Ciencias Biológicas y de la Salud. Blvd. Luis Encinas y Blvd. Rosales s/n, Col. Centro, C.P. 83000, Hermosillo Sonora; Tel. (662) 2592105, (662)2592183 ext. 2650, www.epistemus.uson.mx, revista.epistemus@correom.uson.mx. Editor ejecutivo: Dr. José Luis Díaz Gómez. Reservas de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2012-101210334800-102. ISSN: 2007-4530 otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Certificado de Licitud de Título y Contenido: 15747, otorgado por la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas Ilustradas de la Secretaría de Gobernación. Impresa por Color Express de México, S. A. de C. V., 12 de octubre No. 130, Col. San Benito, C.P. 83190, Hermosillo, Sonora; este número se terminó de imprimir el 31 de diciembre de 2013, con un tiraje de 1000 ejemplares.



Información del contacto institucional de la publicación: Universidad de Sonora, Unidad Regional Centro, Blvd. Luis Encinas y Rosales s/n, Col. Centro, C.P. 83000, Hermosillo, Sonora, México. Tel. (662)2592155, correo electrónico: revista.epistemus@correom.uson.mx, At'n. Dr. José Luis Díaz Gómez, Editor ejecutivo.

EPISTEMUS está Indexada en el Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal (LATINDEX) y en el Índice de Revistas Latinoamericanas en Ciencias.

**REVISTA EPISTEMUS**
Universidad de Sonora
Unidad Regional Centro, Blvd. Luis Encinas y
Rosales, s/n, Col. Centro, C.P. 83000,
Hermosillo, Sonora, México.
Teléfono: (662) 2592155.
Correo: revista.epistemus@correom.uson.mx
Atn. Dr. José Luis Díaz Gómez
Editor Ejecutivo






Una de las funciones fundamentales de la Universidad es propiciar la generación de nuevos conocimientos mediante la investigación científica, tecnológica, humanística y social, y las revistas universitarias representan uno de los mejores instrumentos para la divulgación de este conocimiento. Funcionan como un medio para la autoevaluación, son un testimonio de la creación intelectual, instrumento para la enseñanza científica, y sirven para la promoción de determinadas disciplinas.

Las revistas universitarias contribuyen a la difusión y promoción del trabajo académico entre profesores, estudiantes, investigadores y lectores en general. Desde las revistas de una universidad se ofrece un lugar donde los profesores e investigadores pueden mostrar los resultados de sus investigaciones, de sus tesis de licenciatura, maestría y doctorado, y de sus estudios. En este sentido, las revistas universitarias contribuyen a la difusión del conocimiento y su posición de cara al mercado editorial se sitúa en términos de igualdad en relación con las editoriales no universitarias.

El objetivo central de la revista Epistemus, Ciencia, Tecnología y Salud y **es dar a conocer los resultados de las actividades científicas, tecnológicas y académicas** a través de artículos de investigación, divulgación e información, originales, inéditos y relevantes, con la finalidad de contribuir con la difusión y avance científico realizado en la universidad y sus centros de investigación.

Su propósito es crear un espacio para la expresión de los académicos estudiosos de diversos sucesos e hitos del conocimiento, y para los lectores es una fuente de información sobre asuntos de interés científico, tecnológico y cultural.

A la revista Epistemus pueden someter artículos: investigadores, académicos, tesistas de licenciatura, posgrado y profesionistas de la Unison u otras instituciones educativas o empresariales que cumplan con los lineamientos de la publicación.

La forma en que se puede participar en la revista es, en las siguientes secciones:

- ***Investigación***. Incluye resultados de proyectos de investigación y requiere mostrar la metodología del caso. El arbitraje es rígido. Se buscará el apoyo de pares internos y externos, nacionales y extranjeros. Se procurará que el lenguaje pueda ser entendido por las personas no expertas en el tema.
- ***Desde la academia***. Comprende los temas relacionados con el quehacer académico, ensayos, reseñas, desarrollo de problemas, temas de la vida académica de la Universidad y su relación con el entorno. El arbitraje en divulgación es necesario aunque no con el rigor metodológico del primero, pero sí en que las exposiciones sean apegadas al conocimiento ordenado y fidedigno.
- ***Políticas de Ciencia y Tecnología***. Incluye temas que tienen que ver con el análisis de las políticas en materia de ciencia y tecnología, la relación entre la investigación y el desarrollo, la innovación y las políticas públicas. Incluye ensayos, reseñas, y análisis de políticas en ciencia y tecnología. El arbitraje es importante sobre todo en las citas bibliográficas y en el manejo del lenguaje comprensible.
- ***Ciencia, Tecnología y Sociedad***. Se trata de promover una cultura científica, tecnológica, de la salud y de la sociedad, abordando diversos temas específicos que inviten a la reflexión, y/o al análisis para comprender el conocimiento. Se procura que lo expuesto sea específico, con un tema de actualidad y concreto en cada colaboración como el análisis del papel de la ciencia, los problemas de salud pública y la tecnología tienen impacto en nuestra sociedad. Tres áreas de conocimiento como herramientas de divulgación importantes. El arbitraje en divulgación es necesario.

***Epistemus*** se caracteriza por la diversidad de los temas que aborda y la calidad de sus artículos. En este número, se incluyen temas de medicina, enfermería, ingeniería, física, matemáticas, y geología. Los artículos publicados reflejan calidad académica y rigor en la investigación; muestran la importancia y el impacto que se presenta en la solución de problemas científicos, tecnológicos, y de la salud, y cada uno de los artículos han sido sometidos a un arbitraje por pares con el fin de evaluar su calidad.

**Contenido:**

En la sección de Investigación se incluyen los artículos: Consumo de drogas y competencias sociales en jóvenes universitarios de la unidad regional sur; Estimación de parámetros para sistemas de ecuaciones diferenciales ordinarias en modelos farmacocinéticos de dos compartimentos; Estabilización robusta de sistemas lineales; y Dinámica de un péndulo sobre móvil: simulación y experimento.

En la sección Desde la Academia, se publican los artículos: Una mirada a la profesión de enfermería desde la perspectiva de género; Ecuación que obtiene con buena aproximación la suma de los primeros enteros a cualquier potencia entera positiva; y Aplicación de la técnica de separación granulométrica por vía húmeda para determinar el origen del Fe en zeolitas naturales.

La sección de Políticas de Ciencia y Tecnología comprende los artículos: Diseño de un laboratorio remoto de robots y procesos de manufactura industriales; Somatometría, obesidad, sobrepeso en estudiantes de educación básica de la frontera norte de México. Un análisis a partir de ENSE 2008; y La responsabilidad social y su relación con el compromiso organizacional, en la Universidad de Sonora, Unidad Regional Centro.

En la sección de Ciencia, Tecnología y Sociedad se destacan los siguientes artículos: La exploración geológica; Mapa de zonas agroclimáticas de la Cuenca del Río San Miguel, Sonora, México; Sistema fotovoltaico de iluminación solar; y Arreglo de círculos, espirales y remolinos de Newgrange.

# BASES PARA PARTICIPAR CON ARTÍCULOS O COLABORACIONES EN EPISTEMUS

## PARA PARTICIPAR CON ARTÍCULOS O COLABORACIONES EN LA REVISTA EPISTEMUS

La educación, la ciencia y la tecnología son consideradas como pilares fundamentales sobre los que se sustenta el desarrollo de un país; por eso es importante fortalecer el enlace entre los que generan el conocimiento y los beneficiados de ello: la sociedad. Uno de los aspectos que distingue a la Universidad de Sonora es la generación de conocimiento y su impacto en la sociedad. Es así como las Divisiones de Ingeniería, Ciencias Exactas y Naturales y Ciencias Biológicas y de la Salud crearon el proyecto editorial Epistemus el cual, constituye un medio de información y comunicación para dar a conocer las investigaciones realizadas o en proceso, las actividades académicas, las reflexiones en torno a la ciencia y tecnología, la cultura científica y la sociedad, proyectos de vinculación y extensión de la cultura y los servicios.

## OBJETIVO

Divulgar el conocimiento que se crea, genera y enseña en la Universidad de Sonora con la finalidad de fortalecer la educación, la cultura científica, tecnológica y de la salud de los diversos sectores de la sociedad.

## ÁREAS GENERALES DE CONOCIMIENTO

Ingenierías: materiales, metalurgia, civil, minas, industrial, ambiental, hidráulica, sistemas de información, mecatrónica, alimentos, energía, agua, entre otras.

Ciencias Exactas y Naturales: geología, física, matemáticas, electrónica y ciencias de la computación.

Ciencias Biológicas y de la Salud: investigación en alimentos, desarrollo regional, acuacultura, salud, biología, y agricultura, entre otras.

## DIRIGIDA A

Los sectores relacionados con la educación y la investigación, empresarios, dependencias gubernamentales, estudiantes de nivel medio superior, superior y posgrado, y sociedad en general.

## CONTENIDO DE LA REVISTA

Artículos originales e inéditos de proyectos de investigación, reseñas, ensayos, información sobre ciencia y tecnología, eventos relevantes, convocatorias, noticias sobre educación y cultura.

## ENFOQUE DE LOS ARTÍCULOS

Los artículos reflejarán lo más trascendente de la producción académica, los proyectos de ciencia, tecnología y sociedad que se realizan en la universidad y en particular en las tres divisiones académicas.

Los artículos deberán de hacer mención de la trascendencia de lo expuesto, su impacto en la solución de problemáticas específicas de la sociedad, del sector industrial, de la educación, y de la cultura, entre otras.

Se incluirán artículos que integren y reflexionen en torno a la ciencia, la tecnología y la sociedad, que aporten elementos precisos que permitan profundizar en el análisis y propongan esquemas de colaboración entre los que producen el conocimiento y los beneficiarios o usuarios potenciales.

El lenguaje escrito debe ser de buen nivel, con el rigor científico pero de divulgación, comprensible para un público no especializado de nivel bachillerato, empresarios y profesionistas de otras especialidades.

## ARBITRAJE

La revista es arbitrada en varios niveles*. Comprende dos aspectos:

Arbitraje académico: En todos los casos, los artículos serán arbitrados por pares académicos internos y/o externos a la Universidad de Sonora.

Arbitraje de divulgación: Se evaluará el lenguaje y el significado de lo expuesto para que no pierda la idea original al tratarlos como artículos de divulgación. Participan en el arbitraje, expertos en divulgación científica.

* Se les sugerirán adecuaciones y modificaciones para que sean tomadas en cuenta por los autores. En todos los casos se definirán los tiempos para las correcciones.

## CARACTERÍSTICAS DE LOS ARTÍCULOS

### Recepción

El artículo deberá ser original e inédito y se hará llegar de manera electrónica al correo: revista.epistemus@correom.uson.mx. Los autores deberán firmar y enviar una carta de originalidad junto con el artículo al Comité Editorial (descargar carta de página web). El comité editorial hará una primera revisión del artículo, si cumple con el formato de la revista, se enviará al menos a 2 árbitros académicos. Los arbitrajes se enviarán a los autores, quienes reenviarán los artículos corregidos. El comité editorial decidirá qué artículos se publicarán en cada número. Los autores de los artículos aceptados, deberán firmar una carta de cesión de derechos de autor y enviarla por e-mail al comité editorial.

### Título

Utilizar letra tipo Arial de 12 puntos, negrita, espacio sencillo, centrado.

### Autores, grado académico, afiliación, correo electrónico

Incluir los datos curriculares de los autores, especificando su grado académico, institución para la cual labora y su correo electrónico. Respecto a los autores, el primero será el autor y el resto serán coautores, siendo un máximo de cinco personas. No se aceptará la inclusión de nuevos coautores después de la recepción del artículo.

### Resumen

Los artículos deberán contener un resumen con letra cursiva, con un máximo de 200 palabras del total establecido.

### Contenido

Utilizar letra tipo Arial de 12 puntos, normal, a doble espacio, justificado. La extensión de los artículos será de un máximo de 3,300 palabras y hasta 20 páginas incluyendo el texto, figuras y citas bibliográficas, en Word con márgenes de 2.5 cm por lado. Los ensayos, reseñas e información de eventos académicos serán de un máximo de 1,500 palabras. Las ecuaciones deberán estar numeradas consecutivamente entre paréntesis. No incluir notas en pie de página.

### Secciones

El autor señalará en qué sección de la revista desea se publique su artículo (descargar secciones de página web). Cuando la colaboración sea en la modalidad de ensayo, hacer uso de subtítulos que faciliten la lectura del texto.

### Tablas, fotos, figuras

Incluir fotos y gráficos de buena calidad en jpg o tiff de máxima resolución a 1,200 pixeles.

### Referencias bibliográficas

El formato de las referencias será de acuerdo a la American PsychologicalAssociation (descargar formato APA de página web).

## FECHAS DE RECEPCIÓN DE ARTÍCULOS

Los artículos se reciben durante todo el año.

Cierre de la edición del primer número del año: Primera quincena de marzo.

Cierre de la edición del segundo número del año: Primera quincena de septiembre.

Impresión y distribución: Junio y Diciembre de cada año.

**Mayores informes al correo:**
revista.epistemus@correom.uson.mx

INVESTIGACIÓN

# CONSUMO DE DROGAS Y COMPETENCIA SOCIAL EN JÓVENES UNIVERSITARIOS DE LA UNIDAD REGIONAL SUR

ALONDRA JIMENA OLIVARES NORIEGA*, MARÍA ALEJANDRA FAVELA OCAÑO, LOURDES TIRADO OCHOA, OLGA BARRAGÁN HERNÁNDEZ, EVA ANGELINA HERNÁNDEZ VILLA

**RESUMEN**

El consumo de drogas representa un problema de salud pública, y entre los jóvenes universitarios representa un riesgo mayor por ser la fase en la que experimentan nuevas situaciones generadoras de estrés, lo cual puede desencadenar conductas negativas asociadas al consumo de drogas. Con el objetivo describir el consumo de drogas licitas e ilícitas y su relación con la competencia social, se llevó a cabo la presente investigación, en 170 alumnos de primer ingreso. El estudio fue descriptivo y correlacional. En el consumo de drogas lícitas, el 57.6% ha consumido tabaco alguna vez en la vida, el 19.4% lo hace diariamente; el 20.5% consume alcohol de forma riesgosa y 9% de forma perjudicial, con mayor frecuencia en el sexo masculino. En cuanto al consumo de drogas ilícitas las más consumidas alguna vez en la vida fueron la marihuana (9.4%) y la cocaína (7.6%). Se aplicó el coeficiente de correlación de Spearman en el que se encontró relación positiva débil y estadísticamente significativa de la conducta antisocial con el consumo de alcohol ($rs = .297$, $p < .001$) y consumo de drogas ilegales ($rs = .228$, $p < .003$).

**Palabras clave:** Competencia social, drogas lícitas e ilícitas, estudiantes universitarios.

**ABSTRACT**

*Drug use is a public health problem, and among university students poses a greater risk for being the stage at which they experience new situations that generate stress, which can trigger negative behaviors associated with drug use. In order to describe the consumption of legal and illegal drugs and its relationship to social competence, was conducted this research, in 170 freshmen. The study was descriptive and correlational. In the licit drug use, 57.6 % of the students had smoked ever in life, 19.4 % they do so daily, 20.5% they drink alcohol in risky and 9 % they do in a harmful way, most often in males. On the consumption of illicit drugs they have ever consumed in life, being marijuana (9.4 %) and cocaine (7.6 %). Applied the Spearman correlation coefficient in which was found a weak positive relationship but statistically significance between antisocial behavior and alcohol consumption ($rs = .297$, $p < .001$) and illegal drug use ($rs = .228$, $p < .003$).*

***Keywords:*** *Social competence, licit and illicit drugs, college students.*

Lic. Enf. Alondra Jimena Olivares Noriega
Hospital General Zona No. 14 IMSS
Correo: jimena_noriega@hotmail.com
M.C.E. María Alejandra Favela Ocaño
Departamento de Enfermería, Universidad de Sonora
Correo: alejandra-favela2010@hotmail.com
Dra. Lourdes Tirado Ochoa
Departamento de Enfermería, Universidad de Sonora
Correo: ltirado_ochoa@hotmail.com

M.C. Olga Barragán Hernández
Departamento de Enfermería, Universidad de Sonora
Correo: barragan@enfermeria.uson.mx
M.C. Eva Angelina Hernández Villa
Departamento de Enfermería, Universidad de Sonora
Correo: eva_angelina_h@hotmail.com

*Autor para correspondencia: Alondra Jimena Olivares Noriega
Correo electrónico: Jimena_noriega@hotmail.com

Recibido: 12 de Marzo de 2013
Aceptado: 11 de Octubre de 2013
ISSN: 2007-4530





## INTRODUCCIÓN

En México, el consumo de drogas constituye uno de los principales problemas de salud pública, ya que representa un alto costo en vida saludable, en la productividad laboral y escolar, así como en la armonía familiar, lo que conlleva a una sobreutilización de los servicios de salud. Las drogas no sólo perjudican a la persona que las consume ya que a su alrededor muchas otras personas padecen sus consecuencias, éstas interfieren en la relación con el entorno, la familia y el trabajo, y pueden llegar a comprometer seriamente el proceso de aprendizaje, especialmente en el caso de adolescentes y adultos jóvenes (1).

La definición de droga propuesta por la Organización Mundial de la Salud (OMS) se refiere a todas las sustancias psicoactivas como: cualquier sustancia que al interior de un organismo viviente, puede modificar su percepción, estado de ánimo, cognición, conducta o funciones motoras. Se emplea el término droga ilícita al hablar de aquellas que están bajo un control internacional, que pueden o no tener un uso médico legítimo, pero que son producidas, traficadas y/o consumidas fuera del marco legal. El alcohol y el tabaco, se consideran drogas lícitas (2).

En México la prevalencia de consumo activo de tabaco fue 20.6% y en Sonora de 21.2%. El 31.4% de los hombres y el 12.6% de las mujeres son fumadores activos. Tanto en la población masculina como en la femenina, ha disminuido la edad en la que se inicia el consumo de tabaco, incluso antes de los 12 años lo que aumenta más de trece veces el riesgo de usar otras drogas. Sin embargo tanto en hombres como en mujeres, el grupo de edad que muestra los niveles más altos de consumo es el de 18 a 29 años (3).

En lo referente al consumo de alcohol en nuestro país, se concentra en una proporción de bebedores menor a la que se observa en otras culturas, pero la gravedad de sus consecuencias en la salud es similar o mayor. En el contexto internacional, México se ha caracterizado por ocupar uno de los primeros lugares de mortalidad por cirrosis hepática alcohólica (4).

El consumo de drogas ilícitas, a nivel nacional, fue de 5.2% mientras que para el estado de Sonora fue de 5.1%. La droga ilícita que ocupa el primer lugar es la marihuana, seguida por la cocaína y los inhalables, aunque se ha observado un aumento de estos últimos en menores de edad (2).

Se considera que la competencia social incluye relaciones positivas con los demás, cognición social acorde a la edad, ausencia de conductas inadaptadas y conductas sociales eficaces. Se asocia con factores intrínsecos y extrínsecos del ser humano (5). Por lo tanto una competencia social, es el conjunto de comportamientos interpersonales en relación a las conductas prosocial y antisocial aprendidas que configuran la competencia social de cada persona en los diferentes ámbitos de interrelación humana (6).

La conducta prosocial, se refiere a la conducta de aceptación y popularidad entre los iguales, cualquier comportamiento que beneficia a otras personas o que tiene consecuencias sociales positivas, adopta diversas formas incluyendo la conducta de ayuda, cooperación, solidaridad y altruismo. Mientras que la conducta antisocial, hace referencia a una diversidad de actos que violan las normas sociales y los derechos de los demás. Los jóvenes con conducta antisocial se caracterizan por presentar conductas agresivas repetitivas, robos, vandalismos, pelearse, irritarse, desobedecer y en general por mostrar un rompimiento significativo de las normas del hogar y de la escuela (5, 6).

La etapa de los 18 a los 22 años se caracteriza por la resolución de tareas de la adolescencia, pero también representa un período de crisis al darse un cambio de rol en la vida escolar y/o laboral del joven. Aunque estos cambios son necesarios, pueden ser desencadenantes de conductas asociadas al consumo de drogas durante su paso por la universidad, de modo que las utiliza como forma de escape a interacciones caracterizadas por un conflicto continuo y como mecanismo de afrontamiento/huida (4, 5, 7).

La literatura señala que el consumo de drogas licitas e ilícitas se inicia en edades cada vez más tempranas, su uso va en aumento no solo en hombres sino también en mujeres, mostrando actitudes sociales más permisivas. Las principales causas se orientan a satisfacer la curiosidad sobre los efectos de determinados productos, la presión que ejercen los pares, el deseo de pertenecer a un grupo o ser aceptados por otros, tener experiencias nuevas, expresar independencia, desajustes emocionales, intelectuales y sociales, descontento con su calidad de vida, baja autoestima y un ambiente familiar desfavorable (8, 9).

Por tal motivo, el desarrollo de las intervenciones de enfermería en la prevención de adicciones se debe fundamentar desde la detección de factores de riesgo, así como en los problemas relacionados con el consumo de drogas tanto lícitas como ilícitas a través de la investigación de estos fenómenos. Por lo tanto, el presente estudio tiene como objetivo describir el consumo de drogas licitas e ilícitas y su relación con la competencia social en los estudiantes universitarios.

## METODOLOGÍA

Se llevó a cabo un estudio descriptivo y correlacional. El muestreo fue probabilístico y estratificado. La muestra fue de 170 participantes.

Los instrumentos utilizados para la recolección de datos se conformaron por:

1. Cuestionario de consumo de drogas (CCD): Dentro de este cuestionario se encuentran 3 apartados: el primero incluye datos sociodemográficos y personales del historial consumo de drogas licitas e ilícitas evaluando la frecuencia través de la prevalencia global (alguna vez en la vida), prevalencia lapsica (en el último año), y prevalencia actual (en el último mes) (2). El segundo, el cuestionario de Tolerancia de Frageström (CTF) tiene como propósito detectar el consumo de tabaco y estimar el grado de dependencia a la nicotina (10); y el tercero, es el cuestionario de identificación de trastornos por el uso del alcohol (AUDIT) que ayuda a identificar el consumo tipo de consumo de alcohol, ya sea sensato, riesgoso o dependiente y dañino o perjudicial (11).

2. Inventario de habilidades sociales para adolescentes (Teenage Inventory of Social Skills - TISS) fue adaptado transculturalmente para México el 2007 (6). El inventario evalúa competencia social de adolescentes mexicanos en las relaciones con sus iguales, clasificando la conducta como pro-social o antisocial (12).

La investigación se apegó a lo dispuesto en el Reglamento de la Ley General de Salud en materia de investigación para la salud en México (13). Para la recolección de datos se realizaron gestiones ante las autoridades de la Unidad Regional Sur de la Universidad de Sonora. Se contó con la disponibilidad de tiempo por parte de profesores de tiempo completo, así como de las autoridades, además los estudiantes sujetos de estudio participaron mediante su consentimiento libre e informado.

Los datos se analizaron con el paquete estadístico SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) versión 17 para Windows, utilizándose estadística descriptiva, que posibilitó la caracterización de los estudiantes universitarios. Asimismo, se utilizó estadística inferencial para el objetivo de la investigación utilizando el coeficiente de correlación de Spearman.





## RESULTADOS

### Estadística descriptiva

El 58.2% de la muestra corresponde al sexo femenino. El 86.5% tiene de 18 a 21 años ($\overline{X}$= 19.95, DE = 2.56), en su mayoría estudia solamente (61.8%) y quienes trabajan ya sea eventual o cotidianamente se dedica al comercio (19.4%), como se observa en la tabla 1.

Tabla 1. Datos sociodemográficos personales de estudiantes de primer ingreso de la Unidad Regional Sur.

| Variable | F | % |
|---|---|---|
| **Sexo** | | |
| Hombre | 71 | 41.8 |
| Mujer | 99 | 58.52 |
| **Edad** | | |
| 18-21 años | 147 | 86.5 |
| 22-21 años | 17 | 10.0 |
| 26-29 años | 2 | 1.2 |
| 30-33 años | 4 | 2.4 |
| **¿Cuál es tu ocupación?** | | |
| Estudio solamente | 105 | 61.8 |
| Estudio y trabajo eventualmente | 40 | 23.5 |
| Estudio y trabajo cotidianamente | 25 | 14.7 |
| **¿En qué Trabajas?** | | |
| Industria | 4 | 2.4 |
| Oficina | 1 | 0.6 |
| Comercio | 33 | 19.4 |
| Otro | 27 | 15.9 |

Fuente: CCD n= 170

La tabla 2, referente al consumo de tabaco, reporta que el 42.4% nunca ha fumado. La prevalencia global (alguna vez en la vida) de tabaco fue de 57.6%, la prevalencia lápsica (en el último año) fue de 34.1%, y la prevalencia actual (los últimos 30 días) fue de 27.6%, 19.4% fuman diariamente; de los que han fumado alguna vez en la vida el 55.1% fue del sexo femenino. La edad al fumar tabaco por primera vez fue en promedio de 15.27 años (DE = 2.59), casi el 45% vive con alguien que fuma.

Tabla 2. Consumo de drogas: tabaco, de estudiantes de primer ingreso de la Unidad Regional Sur.

| Variable | F | % |
|---|---|---|
| **Historial de consumo** | | |
| Alguna vez en la vida | 98 | 57.6 |
| En el último año | 58 | 34.1 |
| Los últimos 30 días | 47 | 27.6 |
| Diariamente | 33 | 19.4 |
| **Sexo de estudiantes que han fumado alguna vez en la vida** | | |
| Femenino | 54 | 55.1 |
| Masculino | 44 | 44.9 |
| **Edad al fumar tabaco por primera vez** | | |
| Nunca ha fumado | 72 | 42.4 |
| 10-13 años | 20 | 11.7 |
| 14-17 años | 48 | 28.2 |
| 18 y más años | 22 | 12.9 |
| No recuerda | 8 | 4.7 |
| **En toda tu vida, ¿Has fumado másde 100 cigarrillos, es decir 5 cajetillas?** | | |
| Si | 38 | 22.4 |
| No | 132 | 77.6 |
| **Aproximadamente¿Cuantos cigarrillos has fumado diariamente?** | | |
| 1-4 cigarrillos | 24 | 72.7 |
| 5-9 cigarrillos | 4 | 12.1 |
| 10 cigarrillos o más | 5 | 15.1 |
| **¿Cuantos años tenías cuando empezaste a fumar tabaco diariamente?** | | |
| 10-13 años | 1 | 3.1 |
| 14-17 años | 18 | 54.5 |
| 18 y más años | 14 | 42.4 |
| **De las personas que viven contigo ¿Cuántos de ellos fuman?** | | |
| Ninguna | 95 | 55.2 |
| 1-2 personas | 69 | 40.6 |
| 3-4 personas | 6 | 3.6 |
| Más de 3 | 1 | 0.6 |

Fuente: CCD n= 170

Aplicando el Test de Fageström, en la tabla 3 se observa que 3.1% presentó dependencia muy elevada, y pertenece al sexo masculino; por edad, se ubica en el grupo de 18 a 21 años.

Tabla 3. Grados de dependencia a la nicotina según el Test de Fageström de estudiantes de primer ingreso de la Unidad Regional Sur.

| Clasificación | F | % |
|---|---|---|
| Muy baja | 28 | 84.8 |
| Baja | 4 | 12.1 |
| Media | 0 | 0.0 |
| Elevada | 0 | 0.0 |
| Muy elevada | 1 | 3.1 |

Fuente: CTF n= 33

El consumo histórico de alcohol tuvo una prevalencia global de 79.4%, prevalencia lápsica de 72.4% y actual de 57.1% (Tabla 4). De la prevalencia global por sexo el 93% de los hombres ha consumido alcohol alguna vez en la vida y 60.7% de las mujeres, por grupo de edad presentan mayor proporción de los 18 a los 21 años (69.4%), por ocupación se presentó mayor proporción entre quienes solamente estudian con 48.4%. En la prevalencia lápsica y actual, presentan tendencias similares.

Tabla 4. Consumo de drogas: alcohol, de estudiantes de primer ingreso de la Unidad Regional Sur.

| Variable | F | % |
|---|---|---|
| Consumo histórico de alcohol | | |
| Alguna vez en la vida | 135 | 79.4 |
| En el último año | 123 | 72.4 |
| En el último mes | 97 | 57.1 |

Fuente: CCD n= 170

Las razones por las que el resto de los estudiantes encuestados no han consumido alcohol, son: porque no les llama la atención (10.9%), porque no se acostumbra en casa o por religión (1.8%). El tipo de bebida alcohólica que consumen con mayor frecuencia es la cerveza (76.7%) y un alto porcentaje vive con alguien que consume bebidas alcohólicas (58.9%).

La clasificación del consumo de alcohol utilizando el instrumento AUDIT, 50% presenta consumo sensato, 20.5% consumo de riesgo y 9% presenta consumo dañino o perjudicial (Tabla 5).

Tabla 5. Clasificación del consumo de alcohol, Test AUDIT de estudiantes de primer ingreso de la Unidad Regional Sur

| Clasificación de consumo de alcohol | F | % |
|---|---|---|
| No consume | 35 | 20.5 |
| Consumo sensato | 85 | 50 |
| Riesgo o dependiente | 35 | 20.5 |
| Dañino o perjudicial | 15 | 9 |

Fuente: AUDIT n= 170



El historial de consumo de drogas fue medido a través de la prevalencia global, lápsica y actual, observando que la marihuana, la cocaína y los tranquilizantes son los más utilizados (Tabla 6).

Tabla 6. Consumo de drogas ilícitas de estudiantes de primer ingreso de la Unidad Regional Sur.

| Variable | Alguna vez en la vida | | En el útimo año | | En el útimo mes | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | f | % | f | % | f | % |
| Marihuana | 16 | 9.4 | 2 | 1.2 | 4 | 2.4 |
| Cocaína y/o crack | 13 | 7.6 | 3 | 1.8 | 2 | 1.2 |
| Heroína | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Tranquilizantes | 9 | 5.3 | 1 | 0.6 | 2 | 1.2 |
| Anfetaminas o estimulantes | 1 | 0.6 | 1 | 0.6 | 1 | 0.6 |
| Otra | 1 | 0.6 | 0 | 0 | 1 | 0.6 |

Fuente: CCD n= 170

En la tabla 7, la conducta prosocial presenta una media de 83.85 (DE = 19.7), llevan a cabo más conductas en este sentido que de conductas antisociales ($\overline{X}$= 45.07, DE = 14.6).

Tabla 7. Estadística descriptiva del TISS de estudiantes de primer ingreso de la Unidad Regional Sur.

| Variable | Mínimo | Máximo | $\overline{X}$ | DE |
|---|---|---|---|---|
| Conducta prosocial | 22 | 114 | 83.85 | 19.7 |
| Conducta antisocial | 224 | 94 | 45.07 | 14.6 |

Fuente: TISS n= 170

Por ítems, las conductas prosociales que más destacan son: el compartir comida con los compañeros de clases, el saber guardar secretos, y dar las gracias cuando han hecho algo bueno por la persona.

En la conducta antisocial, las respuestas que los describen totalmente con mayor frecuencia "cuando no me gusta el aspecto que tienen otros chicos, se los digo", "le digo a mis compañeros de clases que hacer" y "arrojo cosas cuando estoy enojado (a)".



## Estadística inferencial

De acuerdo a la prueba de normalidad, ninguna de las variables mostró normalidad, por lo que se decidió el uso de pruebas no paramétricas. Para responder al objetivo de la investigación de conocer la relación del consumo de drogas y la competencia social, el coeficiente de correlación de Spearman mostró una relación positiva débil y estadísticamente significativa de la conducta antisocial y el consumo de alcohol (rs = .297, p<.001) así como con el consumo de drogas ilícitas (rs =.228, p<.005) (Tabla 8). Adicionalmente, se observa que la dependencia a la nicotina y al consumo de alcohol tuvieron una relación positiva y significativa (rs = .577, p <.001), así como el consumo drogas ilícitas con la dependencia a la nicotina, (rs = .744, p <001) y el consumo de drogas ilícitas con el consumo de alcohol (rs = .512, p <001).

Tabla 8. Correlación bivariada de Spearman para las variables del estudio de estudiantes de primer ingreso de la Unidad Regional Sur

| VARIABLE | | Edad | CTF | AUDIT | CDD | TISS | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | Conducta Prosocial | Conducta Antisocial |
| Edad | | 1 | | | | | |
| CTF | | -.274<br>.142 | 1 | | | | |
| AUDIT | | -.001<br>.994 | .577<br>.001 | 1 | | | |
| CCD | | .032<br>.676 | .744<br>.000 | .512<br>.000 | 1 | | |
| TISS | Conducta Prosocial | -.030<br>.694 | -.129<br>.498 | -.010<br>.894 | -.028<br>.714 | 1 | |
| | Conducta Antisocial | .101<br>.189 | .163<br>.390 | .297<br>.000 | .228<br>.003 | .106<br>.167 | 1 |

Fuente: CTF, AUDIT, CCD, TISS n= 170

## DISCUSIÓN

Los resultados del estudio permitieron conocer la prevalencia de consumo de drogas de los estudiantes de primer ingreso de la Unidad Regional Sur. Más de la mitad de la muestra aceptó haber consumido tabaco alguna vez en la vida. Esto se encuentra por arriba del consumo a nivel nacional, que fue de 35.6% que, además de reducir la esperanza de vida, representa un aumento en el riesgo de presentar diversas enfermedades en los jóvenes como cáncer, enfermedad pulmonar obstructiva crónica, cardiopatías, aborto, parto prematuro, defectos de nacimiento, e infertilidad, entre otras (3). El consumo de tabaco puede ser resultado del proceso de socialización, en el cual la familia, la escuela y los amigos, son las principales influencias. Casi el 45% de los jóvenes de la muestra viven con alguien que fuma, esto apoya lo reportado por Urquieta et al. y Zarate et al., quienes muestran que la relación entre la convivencia con personas que consumen tabaco y el desarrollar el hábito, aumenta por esta circunstancia (14, 15).

En lo referente a la edad de inicio se reportó un promedio de 15.27 años y quienes fuman diariamente iniciaron con este ritmo antes de los 18 años, coincidiendo con lo reportado por Quiroga (4). La ENA (3) refiere que los hombres (24.8%) fuman más que las mujeres (7.8%), lo cual difiere del presente estudio, que reporta que un 55.1% de las mujeres ha fumado alguna vez en la vida contra un 44.9% de los hombres.

Con lo que respecta al consumo de alcohol alguna vez en la vida la prevalencia fue de 79.4%, cifra mayor a lo reportado por Martínez et al. (76.1%), que pudiera atribuirse a las conductas de aceptación en la comunidad del consumo de alcohol (16). Sin embargo, Rocha et al. y Correa, mencionan que más del 80% de los estudiantes de primer ingreso consumen alcohol, coincidiendo, que tanto para quienes consumen tabaco como alcohol, la mayoría se ubica entre los 17 y los 21 años, lo cual pudiera deberse a que el individuo está en un proceso de transición, y al verse con la libertad de tomar ciertas decisiones, experimenta con todo lo que se le ofrece, sobre todo aquellos adultos jóvenes que se encuentran por primera vez viviendo solos, por lo que es importante el desarrollo de factores protectores (17, 18).

López y Correa, describieron que poco más del 40% consumió bebidas alcohólicas alguna vez en la vida (12, 18), difiriendo del presente estudio en el cual la prevalencia global fue de 79.4%. Hay que destacar que la prevalencia de consumo de alcohol es mayor que la de tabaco y otras drogas. Coincidiendo el estudio de López (12) en que la prevalencia global es mayor en el sexo masculino, difiriendo con Correa. Por otro lado, Correa coincide que por grupo de edad, presentan mayor proporción de los 18 a los 21 años (18).

Las drogas más utilizadas por esta muestra son la marihuana y la cocaína. Lo cual podría derivarse de su disponibilidad, a la permisividad social, el consumo en el entorno inmediato, la percepción de que se corre bajo riesgo o son poco adictivas. Si bien considerar esta conducta como peligrosa no limita el que decidan experimentar, podría prevenir que continúen usándolas después de haber experimentado, según lo expuesto por Quiroga (4).

Prevalecen las conductas prosociales más que las antisociales las cuales son determinantes del consumo juvenil de drogas ilegales y que tienen valor predictivo en cuanto a estabilidad emocional, los conflictos internos en el auto concepto general con sentimientos que inciden en la valía del individuo (4, 18). Se ha observado que a mayor conducta prosocial menor es el consumo de drogas en los adolescentes y se ha encontrado relación de la conducta antisocial con el consumo de alcohol (12), en este estudio se encontró esa relación también con el consumo de drogas ilícitas.



## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En lo referente al consumo de tabaco la edad de inicio en promedio fue en la adolescencia y aunque más de la mitad ha reportado haberlo consumido alguna vez en la vida, se reduce a 27.6% en los últimos 30 días, y 19.4% lo fuman diariamente. Cabe destacar que de los que han fumado alguna vez en la vida, el 55.1% fue del sexo femenino. Por último, casi el 45% vive con alguien que fuma.

En cuanto al consumo de alcohol, éste presenta una prevalencia global (79.4%) mayor que el tabaco y otras drogas. Por sexo, el consumo se da mayormente en los hombres aunque más de la mitad de las mujeres ha consumido alcohol alguna vez en la vida.

Los jóvenes llevan a cabo más conductas prosociales que conductas antisociales. Aunque mostró una relación de la conducta antisocial, con el consumo de alcohol y el consumo de drogas ilícitas.

El consumo de drogas es un fenómeno dinámico, que presenta cambios en los índices de consumo. Por lo que se debe fomentar el interés en la sociedad para desarrollar intervenciones orientadas al desarrollo de habilidades sociales y factores protectores en niños, para que cuando lleguen a la etapa de la adolescencia tengan las herramientas necesarias para rechazar sin problema el consumo de drogas.

Se recomienda elaborar un programa específico donde se lleve a cabo difusión permanente de la prevención de adicciones dentro de la Universidad de Sonora. Además de crear lineamientos para referir a aquellos alumnos que se detectan con factores de riesgo o que ya consumen algún tipo de droga, en donde los docentes, en especial los tutores, que son los que tienen contacto personalizado con los estudiantes, pueden canalizarlos y se les pueda ofrecer seguimiento individualizado.

## BIBLIOGRAFÍA


1) Villatoro, J. A., Gutiérrez, M. L., Quiroz, N., Moreno, M., Gaytán, L., Gaytán, F. (2009). Encuesta de estudiantes de la Ciudad de México 2006. Prevalencias y evolución del consumo de drogas. Salud mental, 32 (4) 287-297.
2) Consejo Nacional Contra las Adicciones (2003). Metodología para elaboración de estudios epidemiológicos a nivel nacional y local y estudios para grupos especiales relacionados con las adicciones. México.
3) Secretaría de Salud (2008). Encuesta Nacional de Adicciones 2008. México.
4) Quiroga, H., Mata, A., Zepeda, H., Cabrera, T., Herrera, G., Reidl, L. (2003). Consumo de alcohol, tabaco y otras drogas en estudiantes universitarios. Encuestas en escuelas. Consejo Nacional Contra las Adicciones. Secretaría de Salud. Recuperado el día 26 de Marzo de 2012 de: http://www.conadic.salud.gob.mx/pdfs/publicaciones/obs2003_III.pdf
5) Pérez, M., Lucio, E. (2010). Construcción de un modelo de riesgo en el consumo de alcohol y otras sustancias ilícitas en adolescentes estudiantes de Bachillerato. Health and addictions: salud y drogas, 10(1), 79-96.
6) Vaugh, S., Hogan, A. (1990). Social Competence and learning disabilities: A prospective study en A.L. Swanson and B.K. Keogh (Orgs.), Learning disabilities: Theoretical and research issues. Hullsdale, NJ: Erlbaum. p. 175-191.
7) Fierro, J. D. (2009). La transición de la adolescencia a la edad adulta: teorías y realidades. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de Madrid.
8) Banderas, C., Martínez, A., Romo, T. (2010). Prevención integral de consumo de alcohol y drogas en estudiantes universitarios: una propuesta de intervención grupal. Acta Colombiana de Psicología. 13 (2), 19-33.
9) De la Villa Moral, M., Rodríguez, F. J., Ovejero Bernal, A. (2010). Correlatos psicosociales del consumo de sustancias psicoactivas en adolescentes españoles. Salud Pública de México, 52(5), 406-415.
10) Fagestrom, K., Schneider, N. (1989). Measuring nicotine dependence: a review of the fagestrom tolerance questionnaire. Journal of Behavioral Medicine, 12 (2), 159-182.
11) Barbor, T., Higgins-Biddle, J., Saunders, J., Monteiro, M. (2001). AUDIT, Cuestionario de identificación de los trastornos debidos al consumo de alcohol: pautas para su utilización en atención primaria. Ginebra: Organización Mundial de la Salud.
12) López, K. S. (2007). Competência social, dificuldades interpessoais e consumo de drogas em adolescentes escolares de Monterrey, N. L. México. Tese de doutorado. Escola de Enfermagem de Ribeirao Preto, São Paulo, Brasil.
13) Secretaría de Salubridad y Asistencia (1987). Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Investigación para la Salud. México, D.F.
14) Urquieta, J., Hernández, M., Hernández, B., (2006). El consumo de tabaco y alcohol en jóvenes de zonas urbanas marginadas de México. Un análisis de decisiones relacionadas. Salud Pública de México, 48 (1), 30-40.
15) Zárate, M., Zavaleta, A., Danjoy, D., Chanamé, E., Prochazka, R., Salas, M., Maldonado, V. (2006). Prácticas de consumo de tabaco y otras drogas en estudiantes de ciencias de la salud de una universidad privada de Lima, Perú. Investigación y educación en enfermería, 24(2), 72-81.
16) Martínez, M. R., Coronado, M. J., Betancourt, M. C., Díaz, A., y Gallegos, J. (2011). Drogas lícitas e ilícitas: consumo de los estudiantes en la Facultad de Enfermería. Enfermería Neurológica. México D.F. 10, 130-134.
17) Rocha, R., Álvarez. M., Cedillo, A., Fat, J. G., Gaytán, R., Ríos, A. (2010). Consumo de drogas en estudiantes universitarios. 11° Congreso virtual de psiquiatría. Recuperado el 23 de Marzo de 2012 de: http://www.interpsiquis.com
18) Correa, S., (2012). Consumo de drogas, competencia social y dificultades interpersonales en jóvenes universitarios de la Unidad Centro. Tesis de licenciatura no publicada. Universidad de Sonora. Hermosillo, Sonora, México.




# ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS EN SISTEMAS DE ECUACIONES DIFERENCIALES ORDINARIAS EN MODELOS FARMACOCINÉTICOS DE DOS COMPARTIMENTOS

JOSÉ ARTURO MONTOYA LAOS*, GUDELIA FIGUEROA PRECIADO, GUILLERMO DÁVILA RASCÓN

**RESUMEN**

En este trabajo se presenta una metodología estadística para estimar parámetros de sistemas de ecuaciones diferenciales ordinarias que modelan la cinética de fármacos en el organismo humano, utilizando modelos de dos compartimentos, los cuales se usan ampliamente en farmacocinética. La necesidad de usar un enfoque estadístico para estimar estos parámetros se debe principalmente a que la cinética de un fármaco varía de un individuo a otro, afectando los valores de los parámetros en el modelo. Se ilustra la metodología y el enfoque estadístico con datos de un estudio realizado en doce individuos, sobre la cinética de la teofilina en sus organismos. El modelo estadístico utilizado supone que para un tiempo dado, las observaciones se modelan con una densidad de probabilidad normal centrada en la solución numérica del sistema y su dispersión cambia en el tiempo, de acuerdo con el valor esperado del proceso. Para estimar los valores de los parámetros se utiliza un enfoque Bayesiano y el sistema de ecuaciones diferenciales se resuelve con un método numérico adecuado.

**Palabras clave:** Estimación de parámetros, modelos de dos compartimentos, cinética de la teofilina, estimación Bayesiana, métodos MCMC.

**ABSTRACT**

*This paper addresses a statistical methodology for estimating the parameters of systems of ordinary differential equations modeling the kinetic of drugs in the human body by means of two-compartment models, widely used in pharmacokinetics. The necessity for using such an approach is due to the fact that the kinetic of a drug varies from one person to another, changing the values of the model's parameters. The whole methodology and the statistical approach are illustrated by using a dataset from a study of the kinetic of theopylline on twelve individuals. The statistical model assumes that, for a given time, the observations are modeled with a normal probability density centered on the numerical solution of the system and its dispersion changes with time, according to the expected value of the process. In order to estimate the values of the parameters, a Bayesian approach is used and the system of differential equations is solved with an ad hoc numerical method.*

**Key words:** *Parameter estimation, two-compartment models, kinetic of theophylline, Bayesian estimation, MCMC methods.*

Dr. José Arturo Montoya Laos
Correo: montoya@mat.uson.mx
Dra. Gudelia Figueroa Preciado
Correo: gfiguero@gauss.mat.uson.mx

Dr. Guillermo Dávila Rascón
Correo: davila@gauss.mat.uson.mx
Departamento de Matemáticas, Universidad de Sonora

*Autor para correspondencia: José A. Montoya Laos
Correo electrónico: montoya@mat.uson.mx

Recibido: 28 de Septiembre de 2013
Aceptado: 13 de Noviembre de 2013
ISSN: 2007-4530






## INTRODUCCIÓN

Las ecuaciones diferenciales ordinarias (EDO) son una herramienta matemática muy utilizada para modelar procesos físicos, químicos y biológicos, entre otros. En medicina, por ejemplo, es cada vez más frecuente el uso de modelos matemáticos, ya que éstos proporcionan un enfoque riguroso para entender la evolución de enfermedades [3]. Las ecuaciones diferenciales proporcionan un marco adecuado para la modelación de problemas que involucran dinámicas evolutivas, como es el caso de la farmacocinética, que estudia la cinética de los fármacos en un organismo. La forma en que el cuerpo humano procesa un fármaco es bastante compleja: desde que éste ingresa al organismo, hasta su eliminación, se conjugan varios procesos (absorción, distribución, metabolismo y excreción), que alteran su concentración en los tejidos y fluidos del organismo. En consecuencia, para modelar el comportamiento del fármaco en el cuerpo, es necesario diferenciar las etapas y los tejidos que afectan los procesos mencionados y hacer ciertas simplificaciones sobre éstos.

Un tipo de modelos muy usados en la farmacocinética son los llamados modelos por compartimentos, que se caracterizan por el número de compartimentos utilizados para describir el comportamiento de un fármaco en el organismo, ya que permiten aplicar principios matemáticos a cada uno de los procesos involucrados. Por ejemplo, si se aplica un modelo de dos compartimentos para representar el cuerpo humano, se podrían agrupar el hígado, el torrente sanguíneo y el corazón en un compartimento, pues algunos fármacos tienen un patrón de distribución similar en estos órganos; en el otro compartimento se podrían incluir el tejido adiposo, el tejido muscular y el fluido cerebro-espinal. Así, se propone un modelo matemático para la concentración del fármaco en el primer compartimento y otro modelo para el segundo.

Por otro lado, la manera de procesar un fármaco varía de un organismo a otro y para modelar esta variabilidad se conjuntan las EDO con modelos estadísticos. Usualmente, esta modelación involucra parámetros que deben estimarse, por lo que debe suponerse una distribución estadística para las observaciones. Después, pueden realizarse simulaciones para determinar el efecto que tendrían, sobre un organismo, diferentes ensayos clínicos o distintos patrones de dosis. En este artículo se propone un modelo de dos compartimentos para estudiar la cinética de la teofilina (1,3-dimetilxantina) en el cuerpo humano. Se utilizan los datos reportados por Boeckmann, Sheiner y Beal [1], que resultan de un experimento del Dr. Robert Upton, para estudiar la cinética de este medicamento en los organismos de doce individuos. En ese estudio, a cada participante se le suministró una dosis oral de teofilina y se midió su concentración (mg/L) en el torrente sanguíneo, en 11 diferentes puntos temporales, durante un período de 25 horas. En la Figura 1, se muestran los perfiles de nueve de estos individuos, ya que solamente se consideraron aquellos participantes cuya concentración de teofilina en su sangre era cero, en el tiempo inicial. La teofilina, por ser un broncodilatador, es un medicamento muy utilizado para tratar diversos problemas respiratorios y se encuentra de manera natural, en el té verde, el té negro y la yerba mate.

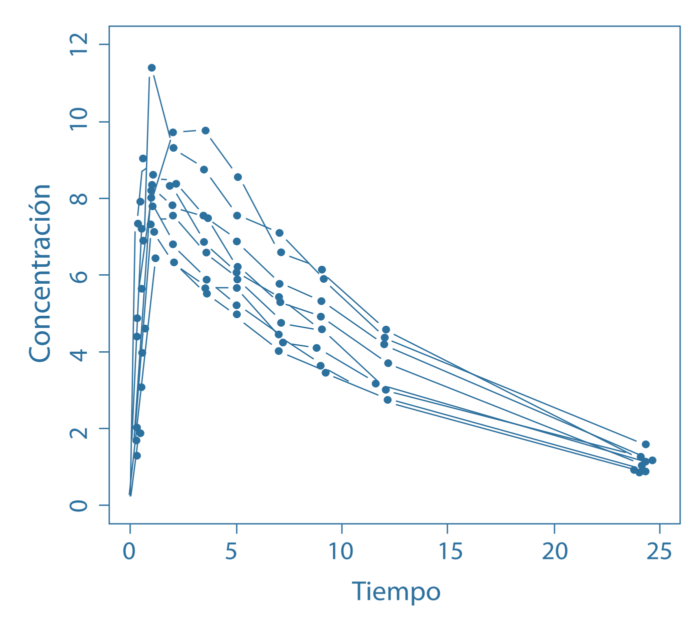



Figura 1. Perfiles de concentración de teofilina en nueve individuos (Datos reportados por Boeckmann, Sheiner y Beal, sobre un estudio del Dr. Robert Upton).



Para modelar el proceso generado por los datos mostrados en la Figura 1 y modelar la cinética de la teofilina en el organismo humano con los datos de los nueve individuos del estudio, se propone un modelo de dos compartimentos representado por el siguiente sistema de EDO:

$$\frac{dx_1(t)}{dt} = -\alpha x_1(t),\ \frac{dx_2(t)}{dt} = \frac{\alpha}{V}x_1(t) - \beta x_2(t),\ x_1(0) = D,\ x_2(0) = 0, \quad (1)$$

donde $V$ denota el volumen total de la sangre; $D$ , la dosis oral de teofilina suministrada a cada individuo en el tiempo inicial $t = 0$ ; $x_1(t)$ denota la cantidad de teofilina en el estómago (primer compartimento) y $x_2(t)$ la concentración de teofilina en la sangre (segundo compartimento), al tiempo $t$. Aquí, los parámetros del sistema son $\alpha$ y $\beta$ , y son cantidades desconocidas que están relacionadas con la cinética del medicamento. Estos son los parámetros que deben estimarse.

Nótese que la cantidad de teofilina en el primer compartimento se modela por la primera ecuación en (1) y tiene un decaimiento exponencial; similarmente, la concentración $x_1(t)/V$ de teofilina en la sangre se modela por la segunda ecuación en (1) y su evolución depende de la concentración de teofilina proveniente del primer compartimento, en cada tiempo $t$. Es importante reiterar que el modelo (1) es para todos los individuos, de ahí la relevancia del enfoque que se aborda en este trabajo y la necesidad de adoptar una metodología estadística que permita tomar en cuenta la variabilidad de los datos y la incertidumbre en la estimación.

El sistema de EDO (1) es un sistema lineal y se puede integrar fácilmente. Su solución analítica está dada por

$$x_1(t|\alpha) = De^{-\alpha t}, \quad (2)$$

$$x_2(t|\alpha,\beta) = \frac{D}{V}\left(\frac{\alpha}{\alpha-\beta}\right)\left(e^{-\beta t} - e^{-\alpha t}\right). \quad (3)$$

Aquí, las funciones de estado $x_1(t|\alpha)$ y $x_2(t|\alpha,\beta)$ hacen explícita su dependencia de los valores de los parámetros $(\alpha,\beta)$. Además, nótese que la función de estado $x_2(t|\alpha,\beta)$ en (3), sólo es observable en el segundo compartimento.

En este trabajo se presenta un enfoque estadístico para estimar los parámetros de un sistema de EDO, considerando la observación parcial del sistema que modelan y ciertas condiciones iniciales dadas de antemano. Las observaciones se modelan por medio de una densidad de probabilidad normal centrada en la solución del sistema y su dispersión depende de dicha solución; es decir, cambia en el tiempo de acuerdo con el valor esperado del proceso. Se usará un enfoque Bayesiano para estimar los parámetros y las funciones de estado observables, así como sus correspondientes densidades de probabilidad. Para implementar numéricamente la estimación Bayesiana se usan métodos MCMC (*Markov Chain-Monte Carlo*). El enfoque estadístico propuesto se ilustra con los datos reales del estudio de teofilina ya mencionado. Además, se usa el método Runge-Kutta de orden 4 (RK-4) para obtener la solución numérica del sistema (1) y valorar el efecto de esta aproximación en la estimación de los parámetros.

## FORMULACIÓN DEL MODELO ESTADÍSTICO: CASO GENERAL

Considérese el sistema de EDO,

$$\frac{dx(t)}{dt} = f(x,t,\theta),$$

donde $x = x(t) \in \mathbb{R}^d$, para cada $t \in [0,T]$ , $d \in \mathbb{Z}^+$ ; $f = f(x,t,\theta)$ es una función conocida, y $\theta \in \mathbb{R}^q$ , con $q \in \mathbb{Z}^+$, es un vector de parámetros desconocidos que se desean estimar por medio de alguna técnica estadística. Aquí se considera un modelo estadístico de la forma:

$$y_{ijk} = x_j\left(t_{ijk}|\theta\right) + \epsilon_{ijk}, \quad (4)$$

donde $y_{ijk}$ es la k-ésima observación de la i-ésima unidad experimental, en la j-ésima función de estado $x_j(t|\theta)$, y registrada en el tiempo $t_{ijk}$ ; el término $\epsilon_{ijk}$ es un error aleatorio correspondiente a la observación $y_{ijk}$. Se supone que sólo un subconjunto $\{x_j(t|\theta)\}_{j\in\mathcal{C}}$ , con $\mathcal{C} \subset \{1,\cdots,d\}$ , de funciones de estado es observable en los tiempos $t_{ijk}$. Así, $i = 1,\cdots,N$, $j \in \mathcal{C}$ y $k = 1,\cdots,n_{ij}$, donde $N$ es el número de unidades experimentales y $n_{ij}$ es el número de observaciones de la i-ésima unidad experimental en la j-ésima función de estado, en el periodo de observación $[0,T]$ . También se supone que los errores son normales

e independientes con media cero y desviación estándar $\sigma_{ijk} = \tau_j^{-1/2} x_j(t_{ijk}|\theta)$, donde $\tau_j > 0$ para todo $j \in \mathcal{C}$. Aquí $\tau = (\tau_1, \cdots, \tau_j) \in \mathbb{R}^{|\mathcal{C}}$, es un vector de parámetros asociado a la calibración de la variabilidad del proceso que se modela.

Nótese que el modelo estadístico propuesto en (4) supone que las observaciones del proceso de interés son el resultado de un comportamiento esperado, dado por la solución del sistema de EDO que lo modela, y una componente de error aleatorio inherente al proceso observacional. El modelo estadístico supone que la variabilidad del proceso cambia en el tiempo, de acuerdo con su valor esperado; esta situación se observa en muchos procesos reales, como es el caso en estudio, donde los perfiles de concentración de teofilina, presentados en la Figura 1, muestran que la variabilidad no es la misma a lo largo del tiempo. De hecho, ésta decrece conforme la concentración del medicamento decrece.

## ESTIMACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS PARAMETROS DEL SISTEMA

Los parámetros involucrados en el modelo estadístico (4), son $\theta$ y $\tau$, donde $\theta$ es el vector de parámetros correspondiente al sistema de EDO y $\tau$ es un vector de parámetros asociado a la calibración de la variabilidad del proceso que se modela. En esta sección se presenta una metodología estadística para estimar estos parámetros, con base en los datos observados $(y_{ijk}, t_{ijk})$, del proceso. El enfoque de estimación usado es el enfoque Bayesiano ([2], [6]).

La herramienta fundamental para la estimación Bayesiana es la densidad de probabilidad de los parámetros, dadas las observaciones, llamada la densidad posterior. Se define por

$$P(\theta,\tau|y) = K(y)P(y|\theta,\tau)P(\theta,\tau), \quad (5)$$

donde $P(y|\theta,\tau)$ es la función de densidad de probabilidad conjunta de dados los parámetros; $P(\theta,\tau)$ es la densidad de probabilidad conjunta a priori de los parámetros, y $K(y)$ es la densidad de probabilidad marginal de $y$. Nótese que $K(y)$ es constante, como función de los parámetros; por ello, la densidad posterior generalmente se presenta como $P(\theta,\tau|y) \propto P(y|\theta,\tau)P(\theta,\tau)$.

Bajo el modelo estadístico propuesto en (4), la densidad condicional $P(y|\theta,\tau)$ está dada por el producto de densidades normales con medias $x_j(t_{ijk}|\theta)$ y desviación estándar $\sigma_{ijk} = \tau_j^{-1/2} x_j(t_{ijk}|\theta)$,

$$P(y|\theta,\tau) = \prod_{i=1}^{N} \prod_{j \in \mathcal{C}} \prod_{k=1}^{n_{ij}} \frac{\sqrt{\tau}}{\sqrt{2\pi} x_j(t_{ijk}|\theta)} e^{-\frac{\tau}{2}\left[\frac{y_{ijk} - x_j(t_{ijk}|\theta)}{x_j(t_{ijk}|\theta)}\right]^2}. \quad (6)$$

En un marco de estimación Bayesiana, la densidad conjunta a priori $P(\theta,\tau)$ expresa la creencia (y la incertidumbre en ellas) respecto a valores razonables de los parámetros, antes de añadir la información contenida en la muestra observada. Así pues, debe proponerse una densidad a priori $P(\theta,\tau)$ según el contexto del problema. Por otro lado, la densidad de probabilidad posterior $P(\theta,\tau|y)$ en (5), proporciona todos los valores creíbles de los parámetros, a la luz de la muestra observada y bajo la densidad a priori de ellos.

En este trabajo se considera la moda de la densidad marginal posterior, como una estimación puntual de los parámetros. Esta densidad se obtiene manteniendo fijo el parámetro de interés e integrando $P(\theta,\tau|y)$ con respecto a los otros parámetros. Es importante mencionar que es poco frecuente obtener expresiones analíticas para la densidad posterior $P(\theta,\tau|y)$ y para las densidades marginales; en consecuencia, generalmente no es posible tener expresiones matemáticas explícitas para los estimadores de los parámetros. En estos casos se propone usar métodos MCMC para obtener una muestra $(\theta^1,\tau^1), \cdots, (\theta^M,\tau^M)$ de la distribución objetivo, la densidad de probabilidad posterior $P(\theta,\tau|y)$, y aproximar la moda de la densidad marginal posterior con la moda muestral, que se calcula a partir de $(\theta^1,\tau^1), \cdots, (\theta^M,\tau^M)$. La estimación puntual de las funciones de estado $x_j(t|\theta)$ y de la densidad de probabilidad correspondiente a cada función, que por hipótesis es una densidad normal con media $x_j(t|\theta)$ y desviación estándar $\sigma_j = \tau_j^{-1/2} x_j(t|\theta)$, se obtienen al reemplazar $\theta$ y $\tau_j$ por su correspondiente estimador puntual.

Hasta ahora, se ha supuesto que se tiene una manera de calcular $x_j(t_{ijk}|\theta)$ de forma exacta. Esto es cierto cuando se conoce la solución analítica $x(t)$ del sistema de EDO. Sin embargo, en muchas ocasiones sólo se cuenta con una aproximación numérica de $x(t)$, denotada aquí por $\tilde{x}(t)$. En estos casos, se reemplaza $x_j(t_{ijk}|\theta)$ por $\tilde{x}_j(t_{ijk}|\theta)$ en la ecuación (6) y se procede con la estimación de los parámetros de acuerdo con la metodología estadística propuesta. Para calcular $\tilde{x}_j(t_{ijk}|\theta)$ se propone usar algún método *ad hoc* según el tipo de sistema a resolver.

## ILUSTRACIÓN DE LA METODOLOGÍA

Considérense los datos de concentración de teofilina descritos en la Introducción y disponibles en la librería





*datasets* del portal de software libre R (http://svn.r-project.org/R/trunk/src/library/datasets/data/Theoph.R). Supóngase que el proceso que genera los perfiles de concentración de teofilina en la sangre se modela adecuadamente por un modelo de dos compartimentos, representado por el sistema de EDO (1) con solución analítica (2), (3). Se pretende estimar los parámetros $\alpha, \beta, \tau$ y $x_2(t|\alpha,\beta)$ con base en un conjunto de datos $\{(y_{ik}, t_{ik})\}$ correspondientes al segundo compartimento ($j = 2$), donde

$$y_{ik} = x_2(t_{ik}|\alpha,\beta) + \epsilon_{ik},$$

con errores $\epsilon_{ik}$ independientes y distribuidos con una densidad normal de media cero y desviación estándar $\sigma_{ik} = \tau^{-1/2} x_2(t_{ik}|\alpha,\beta)$, $i = 1,\cdots,N$ ($k = 1,\cdots,n_i$ y $k = 1,\cdots,n_i$). Los tiempos de muestreo corresponden a $n_i = n$ puntos entre 0 y $T = 25$, para $i = 1,\cdots,N$, donde $n = 11$ y $N = 9$.

Para este caso de estudio, la densidad conjunta de la muestra es

$$P(y|\alpha,\beta,\tau) = \prod_{i=1}^{N}\prod_{k=1}^{n} \frac{\sqrt{\tau}}{\sqrt{2\pi}x_2(t_{ik}|\alpha,\beta)} e^{-\frac{\tau}{2}\left[\frac{y_{ik}-x_2(t_{ik}|\alpha,\beta)}{x_2(t_{ik}|\alpha,\beta)}\right]^2}. \quad (7)$$

Aquí se supone que $D/V$ en (3) es igual a 10, para todos los individuos bajo estudio; esta es una hipótesis razonable que ha sido reportada en la literatura [5]. Para llevar a cabo la estimación Bayesiana es necesario especificar una densidad a priori para el vector de parámetros $(\alpha,\beta,\tau)$. Se propone la siguiente densidad de probabilidad conjunta, a priori, para los parámetros:

$$P(\alpha,\beta,\tau) = P(\alpha; a_\alpha, b_\alpha)P(\beta; a_\beta, b_\beta)P(\tau; a_\tau, b_\tau), \quad (8)$$

donde $P(\cdot\,; a, b)$ es la función de densidad de probabilidad Gamma con media $ab$ y varianza $ab^2$, denotada por Gamma $(a, b)$. Nótese que se supone, a priori, que los parámetros $\alpha, \beta$ y $\tau$ son variables aleatorias independientes; además, se deben especificar las cantidades $a_\alpha, b_\alpha, a_\beta, b_\beta, a_\tau$ y $b_\tau$ para determinar completamente $P(\alpha,\beta,\tau)$. La Figura 2 muestra las densidades a priori seleccionadas para el presente caso. El criterio para seleccionar estas densidades fue descartar valores absurdos de los parámetros, pero sin otorgar absoluta credibilidad a un pequeño conjunto de valores. Es decir, son densidades de probabilidad razonables, pero que dan credibilidad a priori a un gran conjunto de valores de los parámetros.

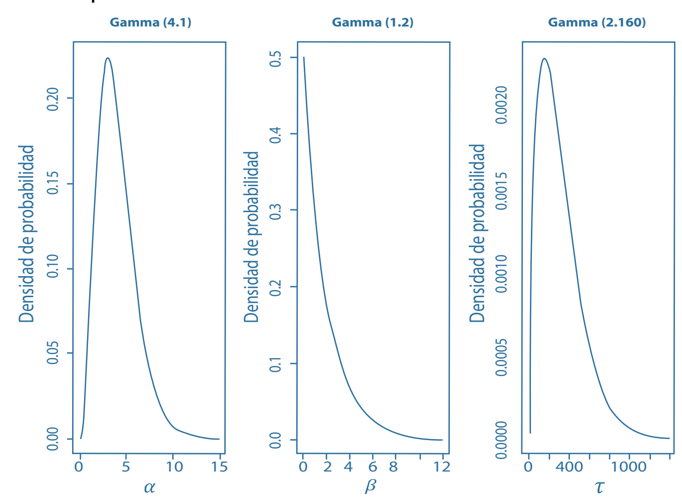



Figura 2. Densidades de probabilidad a priori para los parámetros $\alpha$, $\beta$ y $\tau$.

Por un cálculo directo, se tiene de (7) y (8), que la densidad posterior del vector de parámetros $(\alpha,\beta,\tau)$, dadas las observaciones, es

$$P(\alpha,\beta,\tau|y) \propto [P(\alpha,\beta)]^{-1}\left(\sqrt{\tau}\right)^{nN} e^{-\frac{1}{2}\tau S(\alpha,\beta)},$$

donde

$$P(\alpha,\beta) = \prod_{i=1}^{N}\prod_{k=1}^{n} x_2(t_{ik}|\alpha,\beta),$$

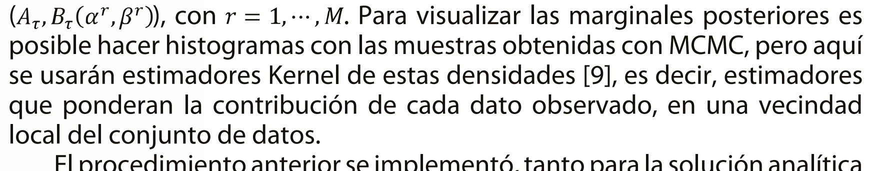
y

$$S(\alpha,\beta) = \sum_{i=1}^{N}\sum_{k=1}^{n}\left[\frac{y_{ik} - x_2(t_{ik}|\alpha,\beta)}{x_2(t_{ik}|\alpha,\beta)}\right]^2.$$

Para muestrear $P(\alpha,\beta,\tau|y)$ usando métodos MCMC es conveniente observar que la densidad marginal posterior de $(\alpha,\beta)$ es

$$P(\alpha,\beta|y) = \int_0^\infty P(\alpha,\beta,\tau|y)d\tau \propto [P(\alpha,\beta)]^{-1}P(\alpha; a_\alpha, b_\alpha)P\left(\beta; a_\beta, b_\beta\right)[B_\tau(\alpha,\beta)]^{A_\tau}$$

donde $A_\tau = (nN/2 + a_\tau)$ y $B_\tau(\alpha,\beta) = [S(\alpha,\beta)/2 + 1/b_\tau]^{-1}$. Más aún, la densidad marginal posterior de $\tau$, dado $(\alpha,\beta)$, es una densidad de probabilidad Gamma$(A_\tau, B_\tau(\alpha,\beta))$. Aquí se usa el algoritmo Metropolis-Hastings [8], el cual es una poderosa herramienta para simular distribuciones multivariadas [4]. Se usa este algoritmo para generar muestras $(\alpha^1,\beta^1),\cdots,(\alpha^M,\beta^M)$ de la densidad marginal posterior $P(\alpha,\beta|y)$. Luego, las muestras $\tau^1,\cdots,\tau^M$ se obtienen de la densidad de probabilidad Gamma



$(A_\tau, B_\tau(\alpha^r, \beta^r))$, con $r = 1, \cdots, M$. Para visualizar las marginales posteriores es posible hacer histogramas con las muestras obtenidas con MCMC, pero aquí se usarán estimadores Kernel de estas densidades [9], es decir, estimadores que ponderan la contribución de cada dato observado, en una vecindad local del conjunto de datos.

El procedimiento anterior se implementó, tanto para la solución analítica $x(t|\alpha, \beta)$ del sistema, dada en (2), (3), como para la solución aproximada $\tilde{x}(t|\alpha, \beta)$ que proporciona R-K4 [7]; esto con el fin de comparar el grado de discrepancia en las estimaciones al usar una solución numérica del sistema de EDO.

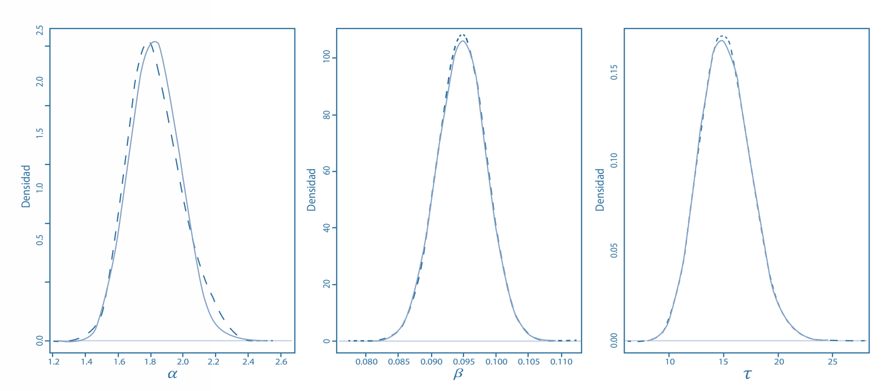
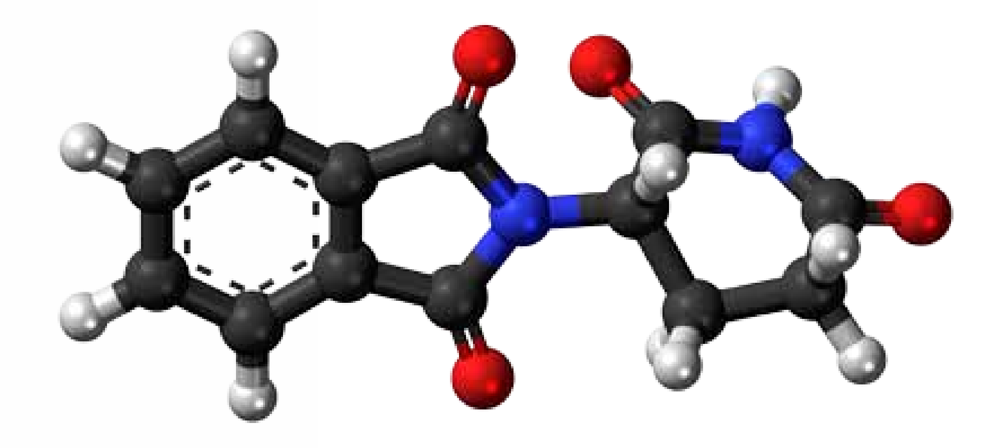



Figura 3. Densidad marginal posterior de los parámetros.

La Figura 3 muestra la estimación Kernel (Gaussiano) de la densidad marginal posterior de cada parámetro, con base en las muestras $(\alpha^1, \beta^1, \tau^1), \cdots, (\alpha^M, \beta^M, \tau^M)$. La línea sólida corresponde a la marginal posterior calculada con $x(t|\alpha, \beta)$ y la línea punteada corresponde a $\tilde{x}(t|\alpha, \beta)$. Se observa claramente que para cada parámetro, ambas posteriores marginales son casi indistinguibles. La estimación puntual de los parámetros se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 1. Estimación puntual de parámetros.

| **Solución del sistema de EDO** | | | |
|---|---|---|---|
| | $\alpha$ | $\beta$ | $\tau$ |
| Explícita | 1.8276 | 0.0949 | 15.0796 |
| Aproximada (R-K4) | 1.8112 | 0.0947 | 15.0894 |



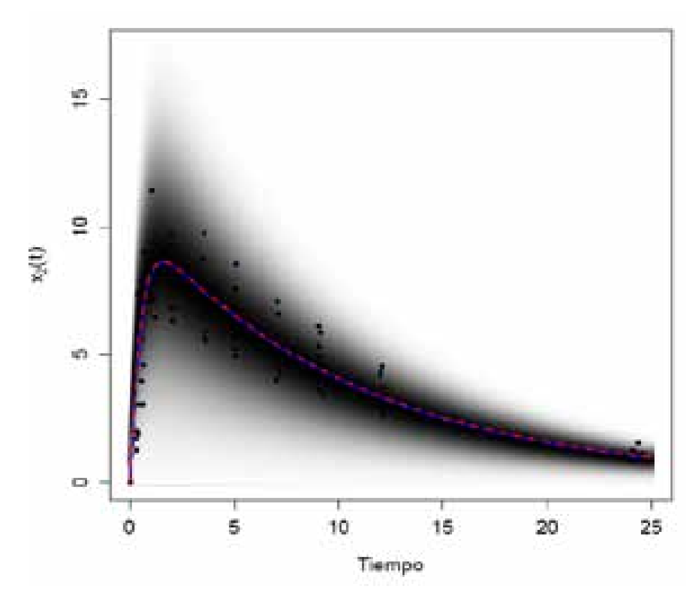



Figura 4. Los puntos negros indican la concentración de teofilina en la sangre. La línea sólida (azul) muestra la estimación puntual de $x_2(t|\alpha,\beta)$ usando la solución analítica del sistema para estimar $\alpha$ y $\beta$. La línea discontinua (rojo) muestra la estimación puntual de $x_2(t|\alpha,\beta)$ usando la solución aproximada por medio de R-K4, para estimar $\alpha$ y $\beta$. En intensidades de gris (gris intenso significa más probable) se muestra la densidad normal estimada de media $x_2(t|\hat{\alpha},\hat{\beta})$ y desviación estándar $\hat{\sigma} = \hat{\tau}^{-1/2}x_2(t|\hat{\alpha},\hat{\beta})$, donde $\hat{\alpha} = 1.8276$, $\hat{\beta} = 0.0949$ y $\hat{\tau} = 15.0796$.

En la Figura 4 se observa: (a) Los datos de concentración de teofilina en la sangre (puntos negros); (b) La estimación puntual de la función de estado $x_2(t|\alpha,\beta)$ usando la solución explícita (2), (3) del sistema de EDO (línea sólida en azul), es decir,

$$x_2(t|\hat{\alpha},\hat{\beta}) = \frac{D}{V}\left(\frac{\hat{\alpha}}{\hat{\alpha}-\hat{\beta}}\right)\left(e^{-\hat{\beta}t} - e^{-\hat{\alpha}t}\right),$$

donde $\hat{\alpha} = 1.8276$, $\hat{\beta} = 0.0949$ y $D/V = 10$; (c) la estimación puntual de la función de estado $x_2(t|\alpha,\beta)$ usando la solución aproximada del sistema de EDO obtenida con R-K4 (línea discontinua en rojo), es decir, $x_2(t|\hat{\alpha},\hat{\beta})$ con $\hat{\alpha} = 1.8112$, $\hat{\beta} = 0.0947$ y $D/V = 10$; (d) En intensidades de gris (gris intenso significa más probable), la estimación puntual de la densidad de probabilidad correspondiente a la función de estado $x_2(t|\alpha,\beta)$ usando la solución explícita del sistema, esto es, una normal con media $x_2(t|\hat{\alpha},\hat{\beta})$ y desviación estándar $\hat{\sigma} = \hat{\tau}^{-1/2}x_2(t|\hat{\alpha},\hat{\beta})$, con $\hat{\alpha} = 1.8276$, $\hat{\beta} = 0.0949$ y $\hat{\tau} = 15.0796$.

Puede observarse que la estimación puntual de $x_2(t|\alpha,\beta)$ no es afectada sustancialmente al usar R-K4 en el proceso de inferencia. Por otro lado, también se observa que la densidad normal estimada, marcada con intensidades de gris, para una rejilla de valores de $t \in [0,25]$, cubre adecuadamente los valores observados de concentración de teofilina. Esto es evidencia de un buen ajuste del modelo estadístico a los datos.

## CONCLUSIONES

En este trabajo se utilizó un modelo de dos compartimentos, representado por un sistema de EDO, para estudiar la cinética de la teofilina en el cuerpo humano, con datos obtenidos de un estudio realizado en doce individuos. Este modelo se conjuntó con un modelo estadístico para introducir una estructura específica de variabilidad, dependiente de la evolución del proceso. Para estimar los parámetros del sistema de EDO se utilizaron métodos de simulación MCMC e inferencia Bayesiana. La metodología presentada es bastante general y puede aplicarse a una diversidad de problemas reales. Por otro lado, no se requiere conocer la solución analítica del sistema de EDO ya que es posible emplear métodos numéricos para resolverlo. Sin embargo, en este caso, la solución analítica permitió valorar el efecto de usar una solución numérica en la metodología estadística propuesta.

## BIBLIOGRAFÍA


1) Boeckmann, A., Sheiner, L., & Beal, S. (1994). NONMEM Users Guide: Part V. University of California, San Francisco.
2) Box, G., & Tiao, G. (1973). Bayesian Inference in Statitical Analysis. New York: Wiley.
3) Chauverie, A., Hatzikirou, H., Lowengrub, J., Frieboes, H., Thompson, A., & Cristini, V. (2010). Mathematical Oncology: How Are the Mathematical and Physical Sciences Contributing to the War on Breast Cancer? Curr. Breast Cancer Rep. , 2, 121-129.
4) Chib, S., & Greenberg, E. (1995). Understanding the Metropolis-Hasting Algorithm. The American Statistician , 49 (4), 327-335.
5) Gahart, B. L., & Nazareno, R. A. (2012). Intravenous Medications: A Handbook for Nurses & Allied Health Professionals. (E. H. Sciences, Ed.)
6) Girolami, M. (2008). Bayesian Inference for Differential Equations. Thoretical Computer Science , 408, 4-16.
7) Mattheij, R., & Molenaar, J. (2002). Ordinary Differential Equations in Theory and Practice, SIAM Classics in Applied Mathematics (Vol. 43). Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics.
8) Metropolis, N., Rosenbluth, A., Rosenbluth, M., Teller, A., & Teller, E. (1953). Equations of State Calculations by Fast Computing Machines. Journal of Chemical Physics (21), 1087-1092.
9) Silverman, B. (1986). Density Estimation for Statistics and Data Analysis. Londres: Chapman and Hall.




# ESTABILIZACIÓN ROBUSTA DE SISTEMAS LINEALES

HORACIO LEYVA CASTELLANOS*,
FRANCISCO ARMANDO CARRILLO NAVARRO

**RESUMEN**

En este trabajo se muestra un conjunto de resultados que permiten abordar el problema de la estabilización robusta de una familia de sistemas lineales positivos. Se describen dos nuevas aplicaciones en la teoría de control positivo para sistemas compartimentales y se muestra la aplicación de un teorema de robustez para tales sistemas.

**Palabras clave:** Robustez, Sistemas positivos, Sistemas compartimentales.

**ABSTRACT**

*In this work we show a set of results that can address the problem of robust stabilization of a family of positive linear systems. We describe two new applications in the positive control theory compartmental systems and show the application of a theorem of robustness for such systems.*

***Keywords:*** *Robustness, Positive systems, Systems compartment.*

M.C. Horacio Leyva Castellanos
Correo: hleyva@gauss.mat.uson.mx
Dr. Francisco Armando Carrillo Navarro
Correo: carrillo@gauss.mat.uson.mx
Departamento de Matemáticas, Universidad de Sonora

*Autor para correspondencia: Horacio Leyva Castellanos
Correo electrónico: hleyva@gauss.mat.uson.mx,
Recibido: 30 de Septiembre de 2013
Aceptado: 21 de Noviembre de 2013
ISSN: 2007-4530





## INTRODUCCIÓN

Muchos modelos económicos, físicos, biológicos, etcétera, involucran cantidades que se representan mediante variables positivas. Por ejemplo, la concentración de sustancias, el nivel de líquidos en tanques, la biomasa de una población, etc. Estos ejemplos pertenecen a la clase de sistemas positivos, donde las variables de estado y las condiciones iniciales son no negativas [2]. En tales sistemas también pueden considerarse controles positivos, por ejemplo en reactores y bioprocesos la acción de control está relacionada a caudales cuyo valor es estrictamente positivo. En este trabajo consideramos una familia de sistemas que satisfacen las hipótesis de la teoría de estabilidad para sistemas positivos, tales como los teoremas de Frobenius-Perron para matrices Metzler y el teorema de Gerschgorin aplicado a matrices compartimentales.

Consideremos el sistema lineal positivo con control positivo

$$\dot{x} = Ax + bu, \qquad (1)$$

donde $x \in \mathbf{R}_+^n$ y $u \in [r_1, r_2] \subset \mathbf{R}_+$. Bajo tales condiciones de positividad para (1), presentamos un conjunto de resultados que permiten asegurar la existencia de equilibrios y la estabilidad robusta de tales soluciones de (1) contenidas en el cono positivo $\mathbf{R}_+^n$.

## SISTEMAS POSITIVOS

Considere el sistema lineal homogéneo en tiempo continuo

$$\dot{x} = Ax, \qquad (2)$$

donde $x \in \mathbf{R}^n$ y $A \in \mathbf{R}^{n \times n}$. A continuación damos definiciones de conceptos con los que trabajaremos.

**Definición 1.** El sistema (2) es positivo si para cada , $x(t_0) = x_0 \in \text{int}\left(\mathbf{R}_+^n\right), t \geq 0$ sucede que la solución correspondiente $x\left(t; t_0, x_0\right) \in \text{int}\left(\mathbf{R}_+^n\right)$ , para toda $t \geq t_0$.

**Definición 2.** La matriz $A = \left[a_{ij}\right] \in \mathbf{R}^{n \times n}$ es Metzler si $a_{ij} \geq 0$ para $i \neq j$ .

**Definición 3.** La matriz $A = \left[a_{ij}\right] \in \mathbf{R}^{n \times n}$ es metzleriana si $a_{ij} \geq 0$ para $i \neq j$, y $a_{ii} < 0$ .

Similarmente, una matriz intervalo $\mathbf{A} := \left\{A \in \mathbf{R}^{n \times n} : 0 \leq a_{ij}^- \leq a_{ij} \leq a_{ij}^+, \text{ para toda } i, j\right\}$, se dice que es matriz intervalo metzleriana, si cada matriz $A \in \mathbf{A}$ es una matriz metzleriana.

Es conocido que el sistema (2) es positivo si y sólo si $A$ es Metzler. A este tipo de sistemas se les denomina positivos porque el cono positivo $\mathbf{R}_+^n$ es un conjunto invariante, ver [4].

**Definición 4.** La matriz $A = \left[a_{ij}\right] \in \mathbf{R}^{n \times n}$ es Hurwitz si todos sus valores propios tienen parte real negativa.

## EL TEOREMA DE FROBENIUS-PERRON PARA MATRICES METZLER

**Teorema 1.** *Sea A una matriz Metzler. Entonces, existen un numero real $\mu_0$ y un vector*

*$x_0 \geq 0$ tales que se cumple lo siguiente:*

*i) $Ax_0 = \mu_0 x_0$, y*

*ii) Si $\mu \neq \mu_0$ es cualquier otro valor propio de la matriz $A$, entonces $\text{Re}(\mu) < \mu_0$.*

Existen resultados para las matrices Metzler que establecen que para cualquier matriz Metzler $A$, su inversa $-A^{-1}$ existe y es positiva, si y sólo si, todos sus valores propios están dentro del semiplano complejo izquierdo (valores propios con parte real estrictamente negativa), i.e, matrices Metzler que son a su vez son Hurwitz. El siguiente teorema asegura que la estabilización de la dinámica controlada ocurra en $\mathbf{R}_+^n$ .

**Teorema 2.** *Sea $A \in \mathbf{R}^{n \times n}$ una matriz Metzler. La inversa $-A^{-1}$ existe y es positiva si, y sólo si, $A$ es Hurwitz (i.e., $\mu_0 < 0$).*

La prueba de los teoremas 1 y 2 pueden verse en [4] y [5].

## APLICACIÓN AL MODELO DE MEZCLAS EN *n* TANQUES

**Definición 4.** *La matriz $A = \left[a_{ij}\right] \in \mathbf{R}^{n \times n}$ es compartimental si se cumplen las dos siguientes condiciones:*

*a) $A$ es Metzler,*

*b) $\sum_i a_{ij} \leq 0$ para cada columna $j = 1, 2, \ldots, n$.*

Tenemos que el sistema lineal (1) es de compartimiento si se cumple que *A* es compartimental, $b \geq 0$ y $u \geq 0$.

Consideremos una línea de *n* tanques conectados cada uno con su antecesor y su sucesor, es decir para el iésimo tanque, éste recibirá dos flujos $f_{2i-1}$ y $f_{2i}$ , y a su vez dará dos flujos $f_{2i-2}$ y $f_{2i+1}$ del y para el ($i$ – 1)-ésimo e ($i$ + 1)-ésimo tanque respectivamente, para $i$ = 1, 2, . . . , $n$ (Figura 1). Es claro, que el tanque 1, recibirá un flujo $f_1$ con cierta concentración *u*, mientras que el tanque *n* desfogará al exterior un flujo $f_{2n}$ . Tal configuración, nos lleva a un sistema del tipo (1). Donde

$$A = \begin{pmatrix} -f_3 & f_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ f_3 & -a_{22} & f_4 & 0 & 0 & 0 \\ & \ddots & \ddots & \ddots & & \\ 0 & 0 & f_{2i-1} & -a_{ii} & f_{2i} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \ddots & \ddots & f_{2n-2} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & f_{2n-1} & -a_{nn} \end{pmatrix}, \qquad (3)$$

con $a_{22} = f_2 + f_5, a_{ii} = f_{2i-2} + f_{2i+1}$ y $a_{nn} = f_{2n-2} + f_{2n+1}$ , para

$i = 1, 2, \ldots, n$ y $b = (1, 0, \ldots, 0)^T$ Como el volumen en cada tanque se considera constante, deberán cumplirse las ecuaciones

$$f_{2i-1} + f_{2i} = f_{2i-2} + f_{2i+1}, \quad \text{para} \quad i = 1, 2, \ldots, n., \quad (4)$$

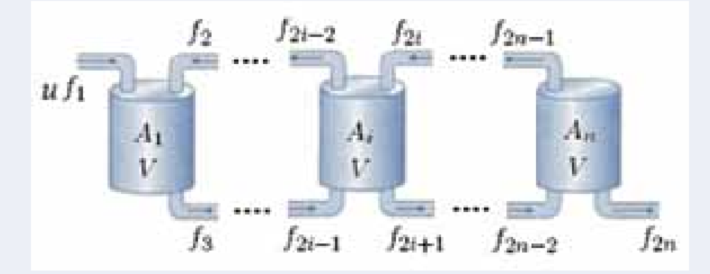



Figura 1. En esta configuración de tanques, se considera el volumen *V* constante.

## EL CASO DE MEZCLA CON DOS TANQUES

En esta parte analizamos el caso $n = 2$ (dos tanques), de la sección anterior. La descripción del problema es el siguiente:

Dos tanques, *A* y *B*, contienen *V1* y *V2* litros de salmuera y en los cuales se disolvieron inicialmente *a* y *b* libras de sal respectivamente. Ambos tanques están conectados, habiéndo un flujo *f2* de salmuera del tanque *A* al *B* y un flujo *f3* del tanque *B* al *A*. Además, del exterior hay un flujo *f1* con *u* libras de sal por litro hacia el tanque *A*, y del tanque *B* hay un flujo *f4* hacia el exterior. Deseamos determinar la cantidad de sal presente en cada tanque en el instante *t*.

Denotando por *x1(t)* y *x2(t)* las cantidades de sal presentes al instante t en los tanques *A* y *B* respectivamente, el modelo matem´atico matricial es de la forma:

$$\begin{pmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\frac{f_2}{V_1} & \frac{f_3}{V_2} \\ \frac{f_2}{V_1} & -\frac{f_2}{V_2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} f_1 \\ 0 \end{pmatrix} u \quad (5)$$

con condiciones inciales $x1(0) = a$ y $x2(0) = b$, de manera que el objetivo es estabilizar rápidamente las concentraciones $\frac{x_i}{V_i}$ de cada uno de los tanques. Si queremos que $V_i$ sea constante para $i$=1, 2, entonces

$$f_2 = f_3 + f_4 \quad \text{y} \quad f_1 = f_4 \quad (6)$$

Donde la matriz de coeficientes $A$ es Metzler, cuyos valores propios son de la forma

$$\lambda_{1,2} = \frac{-f_2(V_1 + V_2) \pm \sqrt{D}}{2V_1V_2} \quad (7)$$

donde $D = f_2^2\left(V_2 - V_1\right)^2 + V_2V_1f_3f_2$. De (6) tenemos que $f_3 < f_2$, de modo que la expresión

$$\begin{aligned} D &< f_2^2\left(V_2 - V_1\right)^2 + V_1V_2f_2^2 \\ &= f_2^2\left(V_1 + V_2\right)^2 \end{aligned}$$

por consiguiente $-f_2\left(V_1 + V_2\right) + \sqrt{D} < 0$, esto es que $A$ es matriz Hurwitz. De acuerdo al teorema de Frobenius-Perron para matrices Metzler, tenemos que el punto de equilibrio $\overline{x}$ es positivo y asintóticamente estable, i.e.,

$$\overline{x} = -A^{-1}b\overline{u} = \overline{u}\begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \end{pmatrix}. \quad (8)$$

Entonces, *u* es quien determina la cantidad de sal en cada tanque. La dinámica es sencilla, al aplicar un control constante $\overline{u}$, cualquier solución que inicie en $\mathbf{R}^2$ tiende asintóticamente al punto de equilibrio $\overline{x} = -A^{-1}b\overline{u}$.

## EL MODELO DE LA INSULINA

Hasta ahora se han propuesto varios modelos matemáticos para la dinámica glucosa-insulina en la terapia de la diabetes tipo 1; sin embargo el modelo de Sorensen es uno de los más aceptados por su completez en la representación del metabolismo de la glucosa, con un enfoque compartimental [11]. El uso del modelo de Sorensen para propósitos de control se ha discutido en [12]; ahí se presenta una breve discusión acerca de la estructura del modelo. El modelo se divide en tres subsistemas: glucosa, insulina y razones de glucagón metabólico. El subsistema de la glucosa es un sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias no lineales en ocho dimensiones, mientras que el subsistema de la insulina es lineal en siete dimensiones. Ambos sistemas están acoplados por el subsistema no lineal de razones de glucagón metabólico. Es importante observar que el modelo de Sorensen ya ha sido validado y los parámetros involucrados son conocidos.

Un enfoque típico del control de glucosa en la terapia de la diabetes tipo 1, consiste en diseñar una función $u(t)$ para controlar la medida de la señal de salida de ésta, es decir, la concentración de glucosa en el tejido vascular periférico (en la piel). El objetivo de control sobre la concentración de glucosa se alcanza por el suministro exógeno de insulina en la ruta subcutánea (señal de control) definido por el diseño de $u(t)$. En este artículo se propone una estabilización del subsistema de la insulina. Esta intención, obedece a la necesidad de controlar la infusión de insulina; esto es que, no es suficiente obtener la concentración de glucosa sobre tasas fisiológicas normales, sino que se debe controlar la infusión de insulina con que se logra esta normalización de la concentración de la glucosa, con el fin de reducir los excesos en las dosis de la aplicación de la insulina para prevenir una hiperinsulinemia y con ello un coma diabético.

Aquí se propone un algoritmo para el control de la insulina, basado en una estabilización rápida de un sistema lineal de la forma

$$
\begin{aligned}
\dot{x}_1 &= -1.73x_1 + 1.73x_2 \\
\dot{x}_2 &= 0.454x_1 - 3.151x_2 + 0.909x_4 + 0.727x_5 + 1.06x_6 \\
\dot{x}_3 &= 0.765x_2 - 0.765x_3 \\
\dot{x}_4 &= 0.094x_2 + 0.378x_3 - 0.789x_4 \\
\dot{x}_5 &= 1.411x_2 - 1.835x_5 \\
\dot{x}_6 &= 1.418x_2 - 1.874x_6 + 0.455x_7 \\
\dot{x}_7 &= 0.05x_6 - 0.111x_7,
\end{aligned}
\tag{9}
$$

donde, $x_i$, para $i = 1, \dots, 7$, es la concentración de insulina



en el cerebro, las arterias, intestinos, hígado, riñón, venas periféricas (piel), compartimentos de órganos periféricos, respectivamente. Este subsistema es usado para diseñar un control estabilizante de acuerdo a la metodología usada de manera estándar. El problema de estabilización supone la infusión de insulina exógena en el tejido subcutáneo, esto es, que la ecuación de balance de masa de concentración de insulina en las venas periféricas $\dot{x}_6$ es modificado por la adición de la entrada $u$, de tal manera que el sistema de ecuaciones diferenciales (9) queda de la forma:

$$\dot{x} = Ax + bu,$$

donde la matriz de coeficientes es

$$
A = \begin{pmatrix}
-1.3 & 1.73 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0.454 & -3.151 & 0 & 0.909 & 0.727 & 1.06 & 0 \\
0 & 0.765 & -0.765 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0.094 & 0.378 & -0.789 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 1.411 & 0 & 0 & -1.835 & 0 & 0 \\
0 & 1.418 & 0 & 0 & 0 & -1.874 & 0.455 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.05 & -0.111
\end{pmatrix}
\tag{10}
$$

el $x = (x_1, x_2, \dots, x_7)^T$ vector $x = (x_1, x_2, \dots, x_7)^T$, el vector $bu = (0,0,0,0,0,1.418u, 0)^T$.

Al fijar un valor aceptable de $\overline{u}$, obtenemos el punto de equilibrio

$$\overline{x} = -A^{-1}b\overline{u},$$

donde las entradas de $\overline{x}$ representan niveles aceptables de insulina en los órganos respectivos. Por ejemplo, si $\overline{u} = 23.349$, entonces $\overline{x}^T = (21.379, 21.379, 21.379, \quad 12.789, 16.439, 32.152, 14.483)$.

## ROBUSTEZ DE LA ESTABILIDAD DE UNA FAMILIA DE SISTEMAS LINEALES

Cabe la pregunta, si los valores nominales de las componentes de la matriz $A$ corresponden al sistema real (el cuerpo humano del insulino dependiente); cualquier aseveración sobre la estabilidad del sistema puede verse alterada si modificamos una de las entradas. En esta sección mostramos un resultado de robustez para una familia de sistemas de ecuaciones diferenciales lineales.

Decimos que un sistema lineal del tipo (1) es Hurwitz estable si la matriz es Hurwitz, por ejemplo el sistema lineal

$$\begin{pmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -3 & 2 \\ 3 & -2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix}, \qquad (11)$$

es Hurwitz estable ya que la matriz es Hurwitz (tiene valores propios $-3 \pm \sqrt{6}$), implicando que para cualquier condición inicial $x_0$, la solución correspondiente $x(t, x_0)$, es tal que el $\lim_{t\to\infty} x(t, x_0) = 0$. El resultado de robustez que aplicamos aquí es para los sistemas lineal del tipo (1) con matriz $A$ Metzleriana, una clase particular de matrices Metzler.

$$\mathbf{A} := \left\{ A \in \mathbf{R}^{n\times n} : a_{ij}^- \leq a_{ij} \leq a_{ij}^+, \text{para toda } i, j \right\}$$

Usando las matrices de cota superior e inferior

$$A^- := \begin{pmatrix} a_{11}^- & \cdots & a_{1n}^- \\ \vdots & & \vdots \\ a_{n1}^- & \cdots & a_{nn}^- \end{pmatrix}, \quad A^+ := \begin{pmatrix} a_{11}^+ & \cdots & a_{1n}^+ \\ \vdots & & \vdots \\ a_{n1}^+ & \cdots & a_{nn}^+ \end{pmatrix},$$

un elemento $A \in \mathbf{A}$ puede denotarse como:

$$A^- \leq A \leq A^+.$$

**Teorema 3.** Una matriz Metzleriana $A \in \mathbf{R}^{n\times n}$ es Hurwitz estable para toda $A \in [A^-, A^+]$ si y sólo si $A^+$ es Hurwitz estable. Una condición equivalente es que todos los menores principales de $-A^+$ son positivos. Es decir, $\det\left[-A^+(\alpha)\right] > 0$ para $\alpha = 1, \ldots, n$.

Usando el teorema 3 para tener un tipo de robustez del sistema lineal (9), al aumentar ligeramente las entradas no nulas de $A$, obtenemos la matriz

$$A^+ = \begin{pmatrix} -\frac{171}{100} & \frac{18}{10} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{1}{2} & -\frac{31}{10} & 0 & 1 & \frac{73}{100} & \frac{11}{10} & 0 \\ 0 & \frac{77}{100} & -\frac{76}{100} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{10} & \frac{4}{10} & -\frac{78}{100} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{3}{2} & 0 & 0 & -\frac{18}{10} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{3}{2} & 0 & 0 & 0 & -\frac{185}{100} & \frac{46}{100} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{12} & -\frac{1}{10} \end{pmatrix}$$



donde $A^{+}$ es Hurwitz, ya que los menores principales de $-A^{+}$ son positivos (al ser fracciones no hay errores de redondeo al calcular los determinantes):

$$\det\left[-A^{+}(1)\right]=\frac{171}{100},\quad \det\left[-A^{+}(2)\right]=\frac{4401}{1000},\quad \det\left[-A^{+}(3)\right]=\frac{83619}{25000},\quad \det\left[-A^{+}(4)\right]=\frac{2440341}{1250000},$$

$$\det\left[-A^{+}(5)\right]=\frac{60102567}{25000000},\quad \det\left[-A^{+}(6)\right]=\frac{718468299}{500000000},\quad \det\left[-A^{+}(7)\right]=\frac{8052561}{156250000}.$$

Definamos la matriz $C=\left[c_{ij}\right]$, con $c_{ij}=\begin{cases}1\ si\ a_{ij}\neq 0,\\ 0\ si\ a_{ij}=0,\end{cases}$ es decir,

$$C=\begin{pmatrix}1&1&0&0&0&0&0\\1&1&0&1&1&1&0\\0&1&1&0&0&0&0\\0&1&1&1&0&0&0\\0&1&0&0&1&0&0\\0&1&0&0&0&1&1\\0&0&0&0&0&1&1\end{pmatrix},$$

el teorema 3 nos asegura que (el intervalo de matrices) la matriz $A+\varepsilon C$ es Hurwitz para todo $\varepsilon\in(-0.05,0.005)$, es decir, $-0.05<\varepsilon<0.005$, donde podemos considerar que

$$A^{-}:=A+(-0.05)C=\begin{pmatrix}-1.78&1.68&0&0&0&0&0\\0.404&-3.201&0&0.859&0.677&1.01&0\\0&0.715&-0.815&0&0&0&0\\0&0.044&0.328&-0.839&0&0&0\\0&1.361&0&0&-1.885&0&0\\0&1.368&0&0&0&-1.924&0.405\\0&0&0&0&0&0&-0.161\end{pmatrix},$$

donde la entrada $\overline{a}_{76}=0$.
Concluimos esta sección observando que el sistema lineal

$$\dot{x}=(A+\varepsilon C)x,$$

es estable si $\varepsilon\in[-0.05,0.005]$ y se estabilizan en el punto de equilibrio

$$\overline{x}=-\left(A+\varepsilon C\right)^{-1}b\overline{u}.$$

Para algunos sistemas positivos del tipo (1) es posible determinar un intervalo de matrices, de manera que un intervalo "grande" significa "más robustez" en la estabilidad del sistema. Como ejemplo, si $x_1(t)=e^{at}$ y $x_2(t)=e^{bt}$, con constantes $a<b<0$, se dice que $x_1(t)$ tiene una mayor tasa de estabilización (converge más rápido al valor cero) que $x_2(t)$.

A partir de este punto, podemos plantearnos objetivos como el establecido por la siguiente pregunta:

¿Es posible incrementar la tasa de estabilización (rapidez de convergencia) en $\overline{x}$ al considerar $u\in[r_1,r_2]$ en lugar del valor constante $u=\overline{u}$ ?, ¿es posible cambiar la dirección de la convergencia en el espacio de estado?

Puede probarse que los sistemas positivos (1) son no controlables (no es posible conducir todas las soluciones de (1) mediante funciones $u(x)\geq 0$), pero es posible elegir (con restricciones) el punto de equilibrio $\overline{x}$, así como aumentar la tasa de estabilización y elegir la dirección (en el espacio de estados) de la convergencia al punto de equilibrio. En [13] y [14] presentamos un método para estabilizar una familia de sistemas positivos del tipo (1) mediante la teoría de modos deslizantes.

## CONCLUSIONES

Mediante resultados conocidos de la teoría de control, sistemas lineales positivos y teoremas de estabilidad, mostramos una manera de analizar y diseñar una estabilización robusta de una familia de sistemas lineales.

## BIBLIOGRAFÍA


1) Horacio Leyva C., Julio Solis-Daun (2009). Synthesis of positive controls for the global CLF stabilization of systems, Joint 48th IEEE Conference on Decision and Control and 28th Chinese Control Conference, Shanghai, P.R. China, December 16-18, 2009.
2) Ait Rami, M. and Tadeo, F. (2007). Controller Synthesis for Positive Linear Systems With Bounded Controls, IEEE Transactions on Circuits and Systems-II: Express Briefs, Vol. 54, No. 2, February.
3) Leenheer, P.D. and Aeyels, D. (2001). Stabilization of positive linear systems, Systems Control Lett., 44: 259-271.
4) Bellman, R. (1970). Introduction to Matrix Analysis, McGraw-Hill, New York.
5) Berman, A., Neumann, M. and Stern, I. (1989). Nonnegative matrices in the Dynamics Systems. John-Wiley, New York.
6) Luenberger, D.G. (1979). Introduction to Dynamic Systems. John Wiley, New York.
7) Brammer, R.F. (1972). Controllability in linear autonomous systems with positive controllers. SIAM J. Control, 10.
8) Farina, L. y Rinaldi, S. (2000). Positive Linear Systems: Theory and applications. John Wiley & Sons.
9) Bhattacharyya, S. P., Chapellat, H., Keel, L.H. (1995). Robust Control, The Parametric Approach, by Prentice Hall PTR.
10) Gallardo H., A.G., et al. (2013). High-order sliding-mode control for blood glucose: Practical relative degree approach. Control Engineering Practice. Recuperado el 27 de Noviembre de 2013 en: http://dx.doi.org/10.1016/j.conengprac.2012.11.01
11) Sorensen, J.T. (1985). A Physiologic Model of Glucose Metabolism in Man and its Use to Design and Asses Improved Insulin Therapies for Diabetes I. PhD Thesis MIT, USA.
12) Quiroz, G. and Femat, R. (2007). On hyperglycemic glucose basal levels in Type 1 Diabetes Mellitus from analysis. Mathematical Biosciences 210, 554-575.
13) Leyva, H., Carrillo, F., Quiroz, G. y Femat, R. (2013). Estabilización vía Modos Deslizantes con Control Positivo. Memorias del Congreso Nacional de Control Automática AMCA 2013.
14) Leyva, H., Quiroz, G., Carrillo, F. y Femat, R. (2013). Rapid insulin stabilization via sliding modes control for T1DM therapy. Memorias del Congreso Nacional de Control Automática AMCA 2013.

# DINÁMICA DE UN PÉNDULO SOBRE MÓVIL: SIMULACIÓN Y EXPERIMENTO

HORACIO MUNGUÍA AGUILAR*,
ABRIL ARMENTA FRANCO, SERGIO GUTIÉRREZ LÓPEZ

**RESUMEN**

Se describen la simulación y el experimento de un péndulo sobre una plataforma móvil. Se muestra la instrumentación que ha permitido evaluar en el laboratorio el comportamiento dinámico real del sistema contrastando las mediciones con las predicciones de los modelos teóricos. Se muestran y discuten los resultados obtenidos.

**Palabras clave:** péndulo sobre carro; experimento con péndulo; péndulo móvil.

**ABSTRACT**

*The simulation and the experiment of a pendulum on a moving platform are presented. It is shown the instrumentation used at the laboratory in order to assess the actual dynamic system behavior contrasting these with the predictions of theoretical models. The results are shown and discussed.*

***Keywords:*** *Cart pendulum; pendulum experiment; mobile pendulum.*

M.C. Horacio Munguía A.
Correo: hmunguia@correo.fisica.uson.mx
M.C. Abril Armenta Franco
Correo: a2f_171084@hotmail.com
M.C. Sergio Gutiérrez López
Correo: sgutier@fisica.uson.mx
Departamento de Física, Universidad de Sonora

*Autor para correspondencia: Horacio Munguía Aguilar
Correo electrónico: hmunguia@correo.fisica.uson.mx

Recibido: 8 de Octubre de 2013
Aceptado: 20 de Noviembre de 2013
ISSN: 2007-4530





## INTRODUCCIÓN

El péndulo es un sistema clásico de mecánica ampliamente estudiado. El análisis de su dinámica no sólo resulta de interés académico, ya que permite introducir el movimiento armónico y los sistemas no-lineales, sino que presenta también una gran variedad de aplicaciones como en robótica, ingeniería civil, sistemas de navegación, instrumentación, etcétera. Existe una gran diversidad de sistemas pendulares: péndulo simple, péndulo doble, péndulo esférico, de masa variable, péndulo invertido, etcétera. El análisis de la dinámica del movimiento de estos sistemas no es trivial pues, en el caso más general, se tienen que emplear técnicas de análisis diferentes a las técnicas Newtonianas clásicas [1, 2].

Un problema todavía mayor en el estudio de los sistemas pendulares tiene que ver con la parte experimental. Preparar un experimento para estudiar la dinámica de un sistema como los pendulares no es sencillo. Normalmente estos sistemas requieren dos o más sensores de posición y/o velocidad para registrar en tiempo real los parámetros del experimento. Además, se debe disponer de un sistema de adquisición de datos rápido y con canales de entrada apropiados para recoger la información de los sensores sin perder detalles del evento. Esto explica por qué en la gran mayoría de los estudios de estos sistemas normalmente no se pasa del análisis teórico y, cuando mucho, de su simulación digital.

En este trabajo se presenta un estudio integral (teoría y experimento) de uno de estos sistemas de péndulo que poco se encuentra en la literatura: el péndulo sobre móvil. Existen varias versiones [3, 4] de este tipo de sistema. En la figura 1 se muestra el esquema del péndulo móvil que aquí se presenta. Consiste de un péndulo simple colgado de un poste que se encuentra fijo sobre una plataforma. Esta plataforma (el carro) es móvil y se puede deslizar sobre una superficie sin fricción en la dirección del eje x y sin desplazamiento vertical**.**

### Las variables y parámetros del sistema son:

*x*: Abscisa del centro de masa del carro.
*y*: Ordenada de la lenteja (masa del extremo) del péndulo.
*x*: Abscisa de la lenteja del péndulo.
θ: Ángulo de la varilla respecto a la vertical.
m1: Masa de la lenteja del péndulo.
m2: Masa del poste.
m3: Masa de la varilla.
M: Masa del carro.
h: Altura total del sistema.
H: Altura del carro.
l: Longitud de la varilla.
L2: Longitud del poste.
b: Posición horizontal del centro de masa del sistema.

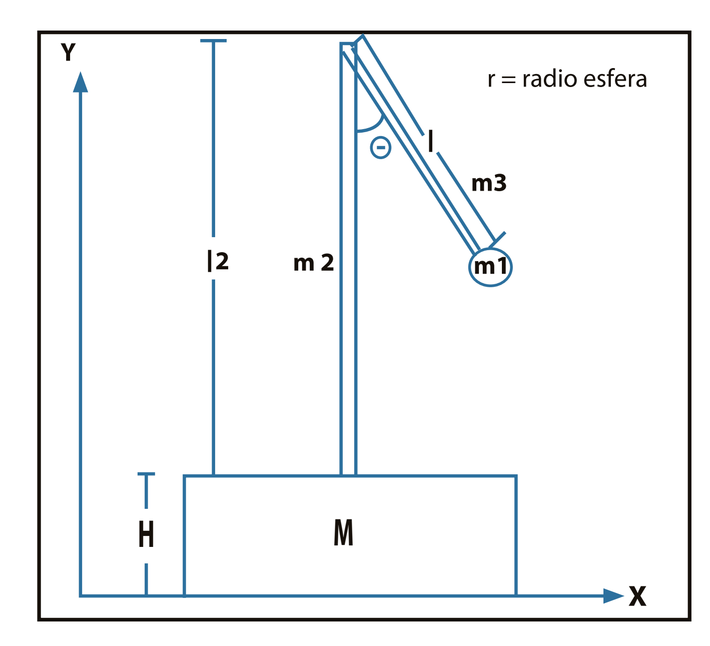



Figura 1. Esquema del péndulo móvil.





## DINÁMICA DEL SISTEMA

Utilizaremos la formulación Lagrangiana de la Mecánica Clásica [5] para obtener las ecuaciones de movimiento del sistema. Bajo este formalismo escogemos como coordenadas generalizadas a **x** (posición horizontal del carro) y θ (ángulo del péndulo) de la figura 1. Las ecuaciones de transformación entre estas coordenadas y las coordenadas cartesianas *x, y* de la lenteja del péndulo son:

1) $x = X + l\sin\theta$

2) $y = h - l\cos\theta$

De aquí resulta que las velocidades generalizadas son:

3) $\dot{x} = \dot{X} + l\dot{\theta}\cos\theta$

4) $\dot{y} = l\dot{\theta}sen\theta$

Para tener una buena aproximación al sistema real, consideraremos al péndulo como un péndulo físico, es decir, tomaremos en cuenta las dimensiones de la varilla, de la lenteja del péndulo y del poste así como sus respectivas masas. Tomando como sistema de referencia la plataforma donde se desliza el sistema, el Lagrangiano *L*, definido como la diferencia entre la energía cinética *T* y la energía potencial *U* del sistema, es:

5) $L = T_{carro} + T_{poste} + T_{barra} + T_{lenteja} - \left(U_{carro} + U_{poste} + U_{barra} + U_{lenteja}\right)$

$$L = \frac{1}{2}M\dot{X}^2 + \frac{1}{2}m_2\dot{X}^2 + \left[\frac{1}{2}m_3\left(\dot{x}_b{}^2 + \dot{y}_b{}^2\right) + \frac{1}{2}I_b\dot{\theta}^2\right] + \left[\frac{1}{2}m_1\left(\dot{x}_l{}^2 + \dot{y}_l{}^2\right) + \frac{1}{2}I_l\dot{\theta}^2\right]$$
$$- \left[Mg\frac{h}{2} + m_2 g\left(h + \frac{l_2}{2}\right) + m_3 g\left(l_2 + h - \frac{l}{2}\cos\theta\right) + m_1 g(l_2 + h - (l + R)\cos\theta)\right]$$

En donde

6) $x_b = X + \frac{l}{2}\sin\theta\,,\ \ y_b = l_2 + h - \frac{l}{2}\cos\theta$

Son las coordenadas cartesianas del centro de masa de la barra y

7) $x_l = X + (l + r)\sin\theta,\ \ y_l = l_2 + h - (l + r)\cos\theta$

Son las coordenadas cartesianas del centro de masa de la lenteja.

Los momentos de inercia de la barra y de la lenteja, referidos a sus respectivos centros de masa son

8) $I_b = \frac{1}{12}m_3 l^2$

9) $I_e = \frac{2}{5}m_1 r^2$

Sustituyendo estas ecuaciones en la expresión (5) se obtiene

10)
$$L = \frac{1}{2}[M + m_1 + m_2 + m_3]\dot{X}^2 + \left[\frac{1}{2}lm_3 + m_1(l + r)\right]\dot{X}\dot{\theta}\cos\theta + \left[\frac{1}{6}l^2 m_3 + \frac{1}{2}m_1\left(l^2 + \frac{7}{5}r^2 + 2lr\right)\right]\dot{\theta}^2$$
$$- g\left[m_2\left(h + \frac{l_2}{2}\right) + m_3\left(l_2 + h - \frac{l}{2}\cos\theta\right) + m_1(l_2 + h - (l + r)\cos\theta)\right]$$

De aquí se obtiene la primera ecuación de Lagrange del sistema:

11) $\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial L}{\partial \dot{X}}\right) - \frac{\partial L}{\partial X} = 0$

$$\frac{d}{dt}\left[(M+m_1+m_2+m_3)\dot{X}+\left(\frac{1}{2}m_3 l+m_1(l+r)\dot{\theta}\cos\theta\right)\right]=0$$

La otra ecuación de Lagrange del sistema es

12) $$\frac{d}{dt}\frac{\partial L}{\partial\dot{\theta}}-\frac{\partial L}{\partial\theta}=0$$

$$\left[\frac{1}{2}m_3 l+m_1(l+r)\right]\ddot{X}\cos\theta+\left[\frac{1}{3}m_3 l^2+m_1(l+r)^2+\frac{2}{5}m_1 r^2\right]\ddot{\theta}+g\left[m_3\frac{l}{2}+m_1(l+r)\right]\sin\theta=0$$

Derivando (11) y reordenando la ecuación anterior, obtenemos nuestras dos ecuaciones de movimiento:

13) $$\ddot{X}\cos\theta+\ddot{\theta}\frac{\left[l^2\frac{m_3}{3}+m_1\left(l^2+\frac{7}{5}r^2+2lr\right)\right]}{\frac{1}{2}[lm_3+2m_1(l+r)]}+g\sin\theta\frac{\left[m_3\frac{l}{2}+m_1(l+r)\right]}{\frac{1}{2}[lm_3+2m_1(l+r)]}=0$$

14) $$\ddot{X}[M+m_2+m_3+m_1]+\frac{1}{2}[lm_3+2m_1(l+r)]\left[\ddot{\theta}\cos\theta-\dot{\theta}^2\sin\theta\right]=0$$

Eliminando $\ddot{X}$ se llega a:

15) $$\ddot{\theta}+\frac{1}{K-(\cos\theta)^2}\dot{\theta}^2\sin\theta\cos\theta+\frac{A}{K-(\cos\theta)^2}\sin\theta=0$$

Donde las constantes ***A*** y ***K*** son:

16) $$A=\frac{g\left(m_3\frac{l}{2}+m_1(l+r)\right)(M+m_2+m_3+m_1)}{\frac{1}{4}[lm_3+2m_1(l+r)]^2}$$

$$K=\frac{\left[l^2\frac{m_3}{3}+m_1\left(l^2+\frac{7}{5}r^2+2lr\right)\right](M+m_2+m_3+m_1)}{\frac{1}{4}[lm_3+2m_1(l+r)]^2}$$

Resumiendo, las ecuaciones (13) y (14) describen el comportamiento del ángulo θ del péndulo y la posición ***x*** del carro. Estas ecuaciones no son lineales y su solución requiere un tratamiento numérico.

## EL MODELO FÍSICO Y LA INSTRUMENTACIÓN

El péndulo móvil que se construyó, y que se muestra en la figura 2, está formado por una estructura metálica rectangular que sirve como la plataforma móvil que soporta al péndulo. Cuatro balines alojados en 2 canaletas paralelas sirven de rodamiento a la plataforma. Este sistema de rodamiento fue el que menor fricción ofreció de entre varios que se probaron, incluido un sistema de rodamiento con ruedas. Sobre esta base se erige una estructura vertical en forma de U invertida de donde cuelga el péndulo. El péndulo está montado directamente sobre el eje de un codificador óptico incremental y está hecho de una varilla de bronce. En su extremo se sujeta un balín de acero de 360 g de peso. El circuito que lee los sensores se coloca sobre la superficie del móvil. De aquí salen las conexiones para los codificadores y para la conexión serial a una computadora que almacenará los datos enviados por el circuito.

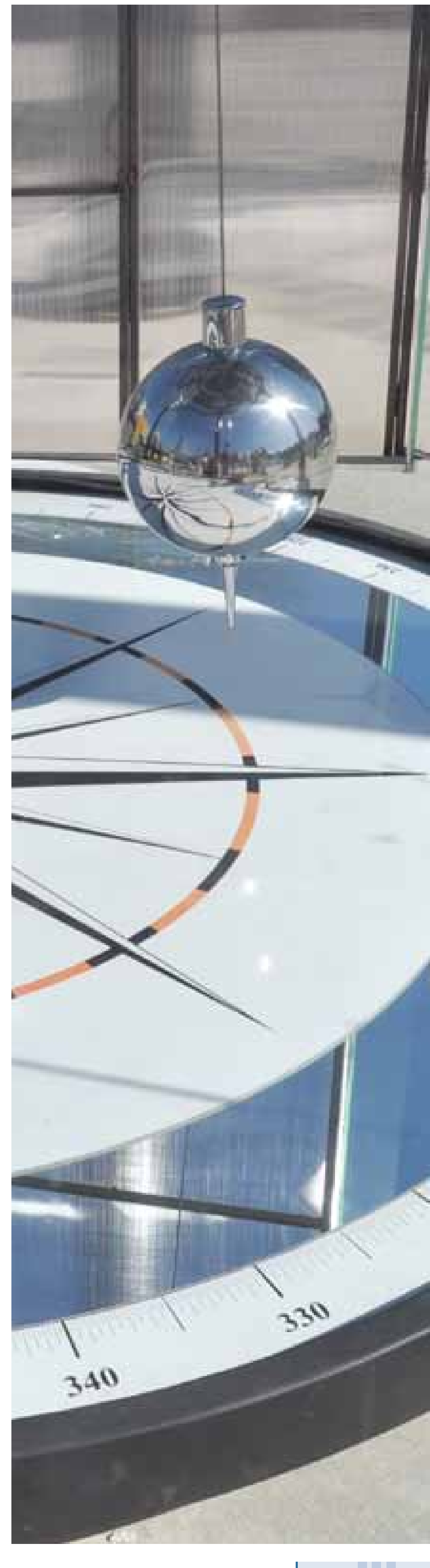




Figura 2. El péndulo móvil construido.

El sistema dispone de dos sensores: uno para la posición angular del péndulo y otro para la posición horizontal del carro. Los dos son de **USDigital** [6] del tipo óptico incremental modelo **H5S-512-IE**. El que mide la posición angular sirve de soporte al péndulo mismo ya que sobre su eje se acopla directamente la varilla. El otro codificador se encuentra en uno de los extremos de la base y es arrastrado en su movimiento. Este tipo de codificadores son de construcción robusta y de muy baja fricción. Su resolución es de 255 pulsos por revolución.

**Los aspectos que se cuidaron en la construcción del péndulo-móvil son:**

- Fricción mínima en el eje de giro del péndulo.
- Rigidez en el soporte vertical del péndulo.
- Firmeza y estabilidad en la plataforma del sistema.
- Fricción mínima en el desplazamiento del carro sobre la plataforma.

Las variables que tenemos que medir, almacenar y procesar con el fin de evaluar el comportamiento del sistema son el ángulo θ y el desplazamiento ***x*** del carro. La velocidad angular del péndulo y la horizontal del carro se pueden obtener secundariamente cuando conozcamos a θ(t) y ***X(t)***. Por lo tanto, en nuestro experimento solo tenemos que medir directamente estos parámetros por medio de sus respectivos codificadores.

La medición del ángulo θ y del desplazamiento ***x*** no es un procedimiento sencillo puesto que se tiene que pasar por un proceso de conteo de pulsos -los generados por los sensores-. Con este objetivo se diseñó un circuito electrónico que realiza las siguientes funciones:

1. Recibe los pulsos de los sensores de posición angular y desplazamiento del carro y lleva su cuenta y dirección de giro.
2. Da formato a esta información para poder ser enviada secuencialmente.
3. Envía en forma inmediata y sincronizada estos datos a una computadora a través de su puerto serial.

Este circuito se desarrolló alrededor de un microcontrolador PIC16F876 de **Microchip** [5]. Véase la figura 3.

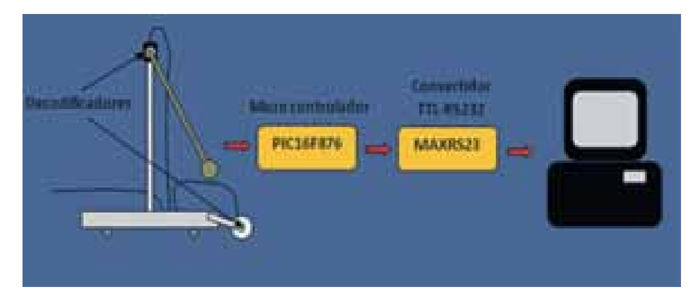



Figura 3. Interface péndulo-PC.

La parte más compleja del proceso se presenta en los puntos 1 y 2. Cada codificador tiene dos canales, A y B. La cantidad de pulsos generados en cada uno es la misma, pero se encuentran desfasados. La lectura de esta fase es la que da la dirección de giro. El programa del circuito está configurado para monitorear continuamente y a gran velocidad los canales A y B. Cuando se observa una transición 0-1 en el canal A inmediatamente se revisa el estado del canal B: si es bajo, se considera un avance en el sentido horario; si es alto, se considera un avance en el sentido anti horario. En el primer caso se incrementa el valor de un contador que contiene el acumulado de los pulsos anteriores; en el segundo caso el contador es decrementado.

En la computadora se dispone de un programa desarrollado en VB.NET que lleva a cabo las siguientes funciones:

- Presenta una interfaz gráfica al usuario que le permite controlar el experimento.
- Establece la comunicación con el puerto serial de acuerdo a los parámetros seleccionados.
- Guarda los datos recibidos en un formato preestablecido que facilitan su posterior procesamiento.

## SIMULACIÓN

Las ecuaciones (13) y (14) fueron resueltas numéricamente empleando el software MATLAB de MathWorks [8]. Los valores de esta simulación para los parámetros *m, M* y *l* corresponden a los valores reales del modelo construido. Estos valores son

- $m_1 = 367.05\ g$
- $M+m_2=818.52\ g$
- $m_3=81.70\ g$
- $l=30.9\ cm$
- $r=2.22\ cm$

En la figura 4 se presentan las gráficas obtenidas en la simulación para el ángulo de giro del péndulo y la posición del carro. En la parte derecha se muestran las correspondientes velocidades: la angular del péndulo y la horizontal del carro. Se establecieron como condiciones iniciales un ángulo de 15.46° y una velocidad angular de cero para el péndulo. Para el carro, sus valores iniciales de posición y velocidad fueron cero.

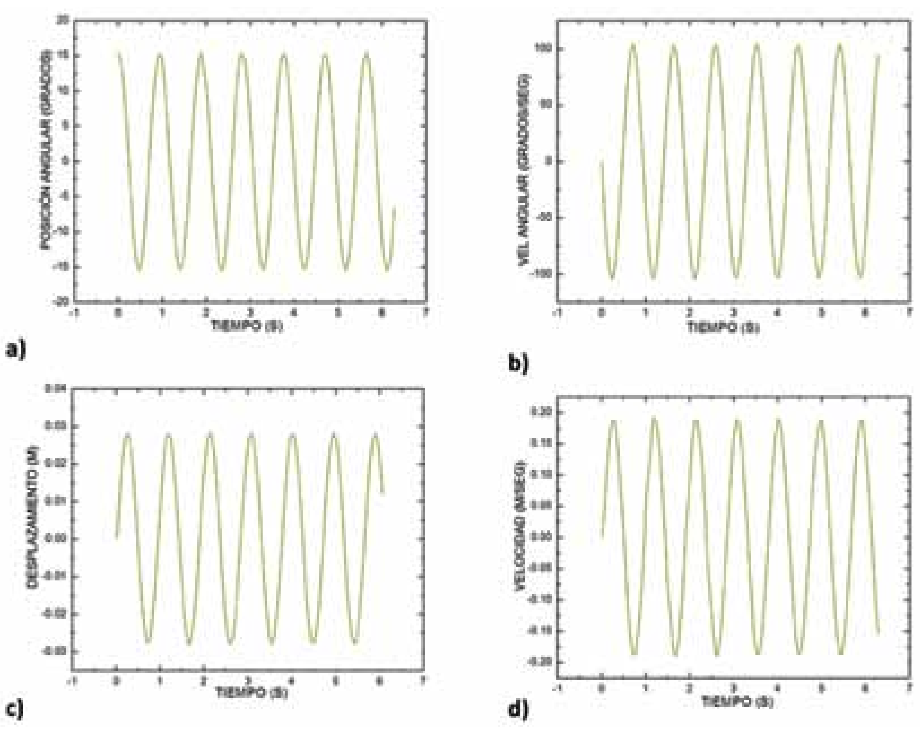



Figura 4. Resultados de la simulación: a) y b) Posición y velocidad angular para θ; c) y d) Posición y velocidad de X.



Resalta el hecho de que las oscilaciones del péndulo y el carro se dan en perfecta sincronía y con la misma frecuencia pero con un desfase de 180° (cuando el péndulo va en un sentido, el carro va por el sentido contrario). El valor de la frecuencia es de 1.064 Hz. Naturalmente, puesto que no se consideró fricción alguna, no se observa atenuación en el desplazamiento angular θ ni en la posición X.

## EL EXPERIMENTO

Para llevar a cabo el experimento el sistema péndulo-móvil lo colocamos sobre una superficie perfectamente nivelada y lo más lisa posible para minimizar fricción. El proceso del experimento se realiza de la siguiente forma:

- Se posiciona el sistema en la superficie de tal forma que queden por los menos 50cm libres a ambos lados en la dirección del desplazamiento del sistema.
- Se inicializa el programa y se selecciona el número de muestras a adquirir en el campo señalado en la interfaz gráfica.
- Manteniendo fija la plataforma del móvil se levanta el péndulo hasta la posición de inicio deseada. No hay necesidad de medir el ángulo inicial con precisión ya que en la gráfica generada se le puede medir fácilmente.
- Se activa el control INICIO de la pantalla para iniciar el proceso de adquisición.
- Sin perder mucho tiempo se liberan el péndulo y la plataforma para permitir su libre movimiento.





- Cuando se han recogido todas las muestras el programa informa al usuario que la adquisición terminó y que el archivo de datos se encuentra disponible en la memoria de la PC. Este archivo de texto contiene 3 campos: el primero contiene el número de muestra, el segundo es el valor del ángulo θ y el tercero es el valor de la posición X.

El archivo generado se captura en una hoja de cálculo para su procesamiento: escalamiento, medición de frecuencia, generación de gráficas, etc.

Empleando el procedimiento anterior se realizaron 20 corridas del experimento y se recogieron sus correspondientes archivos de datos. Cada archivo se procesó con la hoja de cálculo ***Excel***. Hay que recordar que los codificadores generan 255 por revolución por lo que cada pulso en el medidor de ángulo representa 360÷255=1.41°. En el caso del codificador que mide el desplazamiento, como ya se mencionó, se encuentra acoplado a una rueda de arrastre que tiene un diámetro de 34 mm; por lo tanto, por cada giro completo se recorre una distancia de πx34=106.8 mm. Esto significa que la sensibilidad en la medición de la posición es de 255÷106.8=2.39 pulsos por mm.

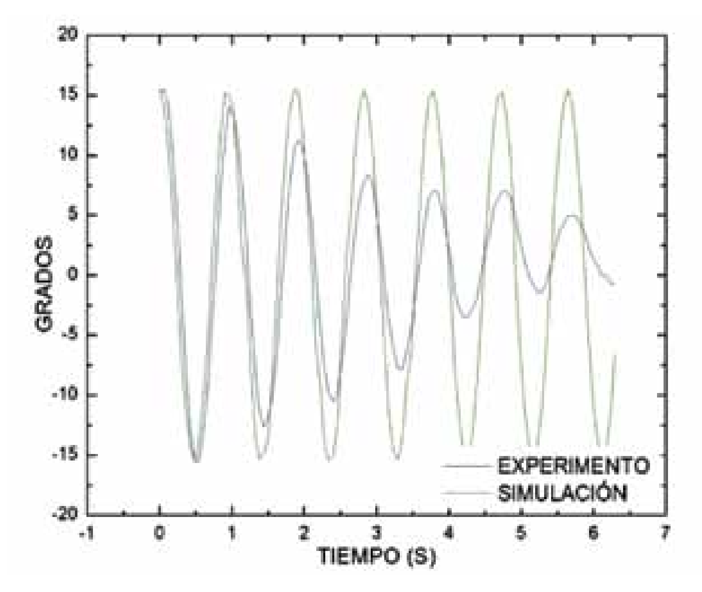



Figura 5. Posición angular del péndulo en el experimento y en la simulación.

Las figuras 5 y 6 muestran las gráficas típicas del el ángulo θ y posición **X** que se obtuvieron en una de las corridas para un ángulo inicial de 15.5°. Se comparan con las curvas obtenidas en la simulación para este mismo ángulo. Los aspectos sobresalientes en estas gráficas son:

En el experimento se observa atenuación en la amplitud de los desplazamientos. En la simulación, como ya se vio, no se presenta atenuación.

La frecuencia de la oscilación en la simulación es de 1.06Hz y en el experimento es de 1.04Hz ±0.01

Para diferentes ángulos iniciales empleados no se observa, ni en la simulación ni en el experimento, diferencias en la frecuencia de oscilación del péndulo. Esta frecuencia es la misma frecuencia que la del carro, solo que se encuentra desfasada. Es decir, la frecuencia de oscilación del sistema no depende del ángulo inicial, al menos no para ángulo menores de 40°. En la simulación numérica obtuvimos un valor para la frecuencia de oscilación de **f=** 1.0637 Hz y en el experimento obtuvimos una valor de **f =** 1.04 Hz con una desviación de ±0.01Hz. Esto significa una diferencia menor a 1.02%. Bastante razonable para una experimento de mecánica.

La discrepancia fundamental se observa en la amplitud de las oscilaciones. En la simulación numérica no se atenúan las oscilaciones. Permanecen constantes todo el tiempo. Esto es lógico porque supusimos que la fricción era nula. Por otra parte, según se observó en algunas corridas, a veces no hay simetría en los desplazamientos horizontales del sistema: se observa un sesgo en una dirección (positiva o negativa) del recorrido del móvil. Este fenómeno puede tener varias causas:

1) Insuficiente nivelación de la superficie.
2) Irregularidades en algunos puntos de la superficie.
3) Alguna obstrucción o desacomodo de los balines en las canaletas.

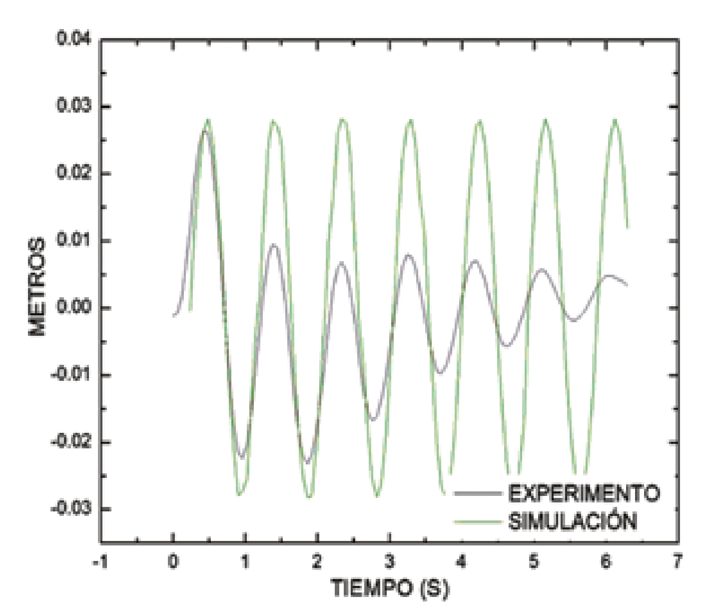



Figura 6. Desplazamiento del móvil en el experimento y en la simulación

## Conclusiones

Se ha construido un péndulo físico que se desplaza sobre una plataforma móvil sobre el eje x. Se obtuvieron las ecuaciones que describen la dinámica de su movimiento y se resolvieron –simularon digitalmente- obteniéndose las gráficas de la posición angular del péndulo y la posición horizontal de la plataforma. De ahí se han obtenido también las correspondientes velocidades. Se realizó el experimento adquiriendo los datos de la posición angular θ y la posición **X** con una computadora través de un circuito interfase expresamente diseñado para este sistema. Al comparar los datos del experimento y la simulación se encuentra una buena correlación entre las frecuencias de oscilación. Las amplitudes difieren porque en la simulación no se consideró la fricción, lo cual conduce a que experimentalmente se obtenga un comportamiento tipo oscilador harmónico amortiguado. Tanto en la simulación como en el experimento no se observa dependencia de la frecuencia de oscilación respecto al ángulo inicial, al menos para ángulos menores de $40^0$. Ángulos mayores a este valor desestabilizan al sistema pues levanta la plataforma de la superficie.

**Este trabajo se puede continuar y mejor trabajando en dos puntos principalmente:**

**1)** Medición experimental de la fricción habida entre la plataforma y la superficie para incorporarla en la simulación. Se puede probar, incluso, con otros sistemas de rodamiento.

**1)** Desarrollar un mejor mecanismo de lanzamiento del sistema que automatice las condiciones iniciales y mejorar la reproducibilidad del sistema.

## REFERENCIAS

1) Karlheinz ,Ochz (2011), *A Comprehensive Analytical Solution of the nonlinear pendulum*, Eur. J. Phys. 32 (2011) 479–490
2) Lima, F.M.S. (2009), *A trigonometric approximation for the tension in the string of a simple pendulum accurate for all amplitudes*; Eur. J. Phys. 30 (2009) L95–L102
3) Thomas Peacock and Nicolas Hadjiconstantinou, course materials for 2.003J/1.053J Dynamics and Control I, Spring (2007). MIT OpenCourseWare (http://ocw.mit.edu), Massachusetts Institute of Technology.
4) Weibel, S. et al (1997), *Global Dynamics of a Rapidly Forced Cart and Pendulum*, Nonlinear Dynamics 13: 131–170.
5) L. D. Landau. (1976). *Mechanics, Third Edition: Volume 1*, Butterworth-Heinemann; ISBN: 0750628960,
6) US Digital, http://usdigital.com/
7) Microchip Technology, http://www.microchip.com/
8) MathWorks, http://www.mathworks.com/products/matlab/



# UNA MIRADA A LA PROFESIÓN DE ENFERMERÍA DESDE LA PERSPECTIVA DE GÉNERO

OLGA BARRAGÁN HERNÁNDEZ*, EVA ANGELINA HERNÁNDEZ VILLA, SANDRA LIDIA PERALTA PEÑA

*Se explora el tema de género en Enfermería, para reflexionar sobre la relación que existe entre una profesión feminizada y la sociedad androcéntrica dominante que obstaculiza el avance de la profesión de enfermería y particularmente de quienes tradicionalmente ejercen esta actividad. Se reconoce que la actividad de cuidar ha sido considerada responsabilidad propia de la mujer y por lo tanto no se le concede el valor social que representa, manifestándose lo que Burín (2004) señala como "El techo de cristal" que limita el desarrollo personal y profesional de las mujeres que forman parte de este gremio.*

M.C. Olga Barragán Hernández
Correo: barragan@enfermeria.uson.mx
M. C. Eva Angelina Hernández Villa
Correo: eva_angelina_h@hotmail.com
M.C.E. Sandra Lidia Peralta Peña
Correo: speralta@enfermeria.uson.mx
Departamento de Enfermería, Universidad de Sonora

*Autor para correspondencia: Olga Barragán Hernández
Correo electrónico: barragan@enfermeria.uson.mx
Recibido: 12 de Marzo de 2013
Aceptado: 18 de Octubre de 2013
ISSN: 2007-4530





## INTRODUCCIÓN

Todas las profesiones se construyen históricamente y se forman y practican en ellas personas, hombres y mujeres, y en ellas como en cualquier colectivo humano, el sexo es un determinante de las oportunidades sociales. Es así como, en razón de estas construcciones sociales de lo que significa ser hombre y mujer, ambos han tenido oportunidades de desarrollo diferentes a través del tiempo. Para comprender esto, es conveniente develar las relaciones de poder/saber que se dan en el ejercicio de la práctica sanitaria, ¿por qué algunos saberes tienen un mayor reconocimiento social que otros?, ¿qué jerarquías se dan entre profesiones distintas o al interior de las mismas?, y descubrir si existe una tradición de práctica femenina o masculina. Es de esta forma como se explica la discriminación, segregación y subordinación de las mujeres en las profesiones sanitarias (1) como la enfermería.

La subordinación de la Enfermería al modelo hegemónico sanitario, y la forma en que administrativamente se planea e implementa la gestión de los cuidados en la mayoría de los hospitales, ha conducido de cierta forma a dificultar el desarrollo de una autonomía en las competencias que son propias de la Enfermería, limitando de cierta forma la libertad en el pensar y en el hacer de sus profesionales (2).

Por otro lado la femineidad, ha estado siempre ligada a las prácticas humanas relacionadas con el cuidado a la salud. Históricamente se ha partido del supuesto que la profesión de enfermería es propia de mujeres (3). Este discurso construido al amparo de una cultura sexista ha terminado por imponerse empíricamente. Además hemos asociado el acto de cuidar con el género femenino, en muy diversas sociedades y culturas, y a través del tiempo, por lo que el rol de cuidar se ha presentado como secundario al rol de curar, sin tenerse en consideración la complementariedad de las dos tareas. No sería posible curar sin cuidar. Esta visión de la enfermería como profesión eminentemente femenina ha estado marcada a través del tiempo por un discurso sexista sobre el rol social de la mujer y por consiguiente de la enfermera, y que con la incursión del varón en la práctica de la enfermería se ha visibilizado aún más la desigualdad de género que existe en el desempeño de la profesión.

En el presente trabajo se pretende reflexionar sobre el ejercicio profesional de enfermería desde la perspectiva de género, analizando algunos de los elementos que, desde nuestro punto de vista, podrían permitirnos conocer algunos hechos que han marcado y obstaculizado su ejercicio.

## LO INVISIBLE DE LOS CUIDADOS DE ENFERMERÍA

Si echamos una mirada a lo largo de la historia de la enfermería, vemos como la práctica profesional ha sido tradicionalmente función de las mujeres, que como sabemos han tenido una posición de reclusión, de invisibilidad, de subordinación y de segundo orden en el mundo social, se ha identificado la enfermería como una ocupación con poca valoración y prestigio, a pesar de su profesionalización y sobre todo de la importancia social que ésta tiene en el cuidado a la salud. No podemos olvidar que en diferentes épocas, prácticamente siempre,





la profesión enfermera «propia de mujeres», ha estado subordinada a la profesión médica «propia de hombres» (4), lo cual tiene una estrecha relación con las construcciones culturales de género; lo que significa ser mujer u hombre, oposición binaria que genera simbolización de todos los aspectos de la vida y que toma forma en un conjunto de prácticas, ideas, discursos y representaciones sociales que dan atribuciones a la conducta objetiva y subjetiva de las personas en función de su sexo, tal diferenciación es producto de un largo proceso histórico de construcción psicosocial y cultural, que no sólo produce diferencias entre los géneros (femenino y masculino), sino que estas diferencias implican desigualdades y jerarquías entre éstos, situación que afecta al gremio de enfermería y que se ve reflejado en el desempeño de las enfermeras(5).

El calificativo de actividad femenina, para algunas investigadoras no solo se refiere a que fuera una actividad creada para mujeres, sino que lo más importante es la ideología con la que nace la enfermería profesional, impregnada de valores de género, abnegación, cuidado maternal, sacrificio, entrega, dulzura, generosidad, propios de la naturaleza femenina (6). Son identidades de género construidas socialmente y que por fortuna en la actualidad ya se revela que no son características naturales, sino culturalmente adquiridas, que permiten a las nuevas generaciones tener más claridad sobre su valor en el mundo. Nuevos valores surgen en Enfermería, porque los de abnegación y sacrificio han servido para dominarlas; en la actualidad, los valores han pasado a un plano diferente, dentro de éstos emergen el respeto, tolerancia, solidaridad y otros.

## GÉNERO Y EJERCICIO PROFESIONAL DE ENFERMERÍA

En México, el promedio de mujeres enfermeras constituye todavía la mayoría del personal de enfermería adscrito a las instituciones de salud, sin embargo, con el paso de los años se ha incrementado el número de varones en la profesión (89.5% mujeres y 10.5% varones) según el Sistema de Información Administrativa de Recursos Humanos de Enfermería (SIARHE, 2013), situación que ha suscitado perspicacias por parte de la sociedad respecto al rol que desempeñan quienes deciden insertarse en el quehacer de la enfermería, tildándolos de homosexuales, médicos frustrados, etcétera. Por otro lado, el sexismo se manifiesta en las escuelas formadoras de este recurso a través del currículo explicito e implícito; en el primero por medio de libros de texto donde se alude al profesional de enfermería como género femenino sin considerar que la profesión es ejercida ahora no sólo por mujeres, sino por varones también, resaltándose actividades específicas de un sexo (femenino), subestimándose al sexo opuesto. En relación al currículo oculto, éste se manifiesta en el trato diferenciado hacia los hombres y las mujeres por medio del lenguaje, los gestos, el tono de voz, la atención proporcionada a unos y a otros, sarcasmos utilizados por parte de los docentes. Todo esto contribuye a la esencialización de la feminidad y masculinidad (7).

¿Cómo se refleja esta situación en los espacios de la práctica profesional de enfermería?, primeramente debemos entender que el ingreso de mujeres al mundo laboral se realizó a través de ocupaciones y profesiones que guardaban cierta similitud con las realizadas con el ámbito doméstico, tareas consideradas de menor calificación que las realizadas por los varones, barreras culturales de género que no reconocen el valor del cuidado como una actividad profesional y las dejan fuera de los espacios de poder; en el área de salud se han diferenciado dos funciones específicas: cuidar y curar. La primera se le atribuye al personal de enfermería, cuidado que la mayoría de las veces se hace invisible por la dificultad que existe para especificar la complejidad emocional, subjetiva y material que incluye; la segunda función se le atribuye al profesional de la medicina, un modelo androcéntrico dominante que exhibe patrones establecidos de poder/saber médico que circunscriben la práctica de la enfermería, dificultando el reconocimiento de sus saberes y su autonomía.

El referir de una u otra forma lo que ocurre en el campo de la Enfermería, nos habla con claridad de la ausencia de mujeres, la presencia femenina en puestos de poder y decisión, tanto en instituciones públicas como en empresas privadas, es prácticamente inexistente. La mayoría de los

análisis realizados en este campo señalan que la cultura organizacional sigue dominada por valores androcéntricos; los principales obstáculos para la promoción profesional de las mujeres, sigue siendo la falta de conciliación de la vida laboral con la privada. La discriminación de género sigue siendo la regla, más que la excepción; y en este sentido, su intervención en las políticas organizacionales se ha vuelto un foco de atención (8).

Dentro del ejercicio profesional de enfermería los enfermeros ejercen una práctica acorde al estereotipo masculino, se inclinan más por los aspectos técnicos o instrumentales, buscan tener una relación más cercana con el médico dentro de equipos reconocidos como fuente del saber, buscando adquirir habilidades semejantes y se adhieren al sistema de valores de la jerarquía superior, la de los médicos o la del mundo masculino, encontrando mayor oportunidad de desarrollarse profesionalmente, beneficiándose de puestos de dirección o gestión por el simple rol de género, pese a ser minoría dentro del grupo profesional. Esto es un reflejo de la desigualdad que enfrentan las mujeres incluso en espacios feminizados de origen (9).

## CONCLUSIONES

Desde el feminismo se puede afirmar que existe una superficie invisible construida mediante elementos que no están escritos ni sujetos a normas o leyes objetivas, sino a un conjunto de expectativas, actitudes o valoraciones latentes desde parámetros patriarcales que dificultan la promoción de las mujeres a posiciones de poder, "techo de cristal" (10) que afecta a las mujeres en enfermería, aunque su cualificación técnica y mediadora la hagan indispensable dentro del sistema. Es necesario que cada una de las profesionales de enfermería desde su quehacer cotidiano se deba cuestionar y plantear retos de transformación en el corto plazo. Una característica de las enfermeras es la de ser buenas ejecutoras, pero la crítica y el juicio sobre su actividad cotidiana no existe o han sido escasos. La posibilidad de pensar en el quehacer cotidiano mejora la práctica de enfermería. Existen estudios (Tánori, 2005; Infante et al., 2007; Del Río Moro, 2005) que hablan de la insatisfacción profesional de la enfermería; este hecho debe impulsar a actuar para transformar la realidad. Es necesario visibilizar el potencial del género femenino dentro de la profesión de enfermería para ocupar cualquier puesto dentro del ámbito de la salud, porque tal como señalan Fajardo y Germán (2004), al citar a Louise Otto-Peters, feminista alemana, que escribió en 1849, "Las enfermeras (mujeres) serán olvidadas si ellas se olvidan de pensar sobre sí mismas".

## BIBLIOGRAFÍA


1) Ortiz, T; Birriel S, J; Ortega O, R (2004). *Género, profesiones sanitarias y salud pública.* Gaceta Sanitaria 18 (supl 1) 189-94.
2) Villela R., E., Guil B., A. (2010). *Género, Poder/Saber: Una Cuestión de Fondo en la Profesión de Enfermería.* VIII Congreso Iberoamericano de Ciencia, Tecnología y Género.
3) Colliere, M. F. (1993). *Promover la vida.* Interamericana. Mc Graw-Hill Madrid.
4) Piqué P., E. (2003). *Mujer y salud desde una perspectiva de género.* Metas Enferm., 2003; 53: 50-54.
5) Lagarde, M. (1996). *"El género", fragmento literal: 'La perspectiva de género', en Género y feminismo.* Desarrollo humano y democracia, Ed. horas y horas, España, pp.13-38.
6) Domínguez, A., C. (1986). *Los cuidados de la profesión enfermera en España.* Madrid: Pirámide.
7) Arcos G., Molina V., Fecci P., Zúñiga A. (2006). *Descubriendo el g*énero en el Currículo Explícito (currículo formal) de la educación de tercer ciclo, Universidad Austral de Chile 2003-2004.Estudios pedagógicos [online]. vol.32, n.1, pp. 33-47. ISSN 0718-0705.
8) Barbera, S. y Ramos (Coords) (2000). *Mujeres directivas: promoción profesional en España y Reino Unido.* Colección Quadens. Feministas (2). Valencia: Instituto Universitario de Estudios de la Dona.
9) Fajardo T., ME y Germán B., C. (2004a). *Influencia del género en el reconocimiento de los cuidados enfermeros visibles e invisibles. Index Enferm* [online]. vol.13, n.46, pp. 09-12. ISSN 1132-1296.
10) Burin, M. (2008). *Las fronteras de cristal en la carrera laboral de las mujeres.* Género, Subjetividad y Globalización. Anuario de Psicología. vol. 39, No.1 Facultad de Psicología. Universidad de Barcelona, España.
11) Tánori Piña, A. D. (2005). *¿Hombres de rosa y mujeres de azul? Incursión laboral de hombres y mujeres en ocupaciones estereotipadas según el género.* Tesis. El Colegio de Sonora.
12) Infante O., I., Moret M., A., Curbelo H., I. (2007). *Satisfacción del personal de enfermería en servicios de Oncología.* Revista Cubana Salud Pública 33 (3).
13) Del Río M., O., Pérezagua G., M.C., Villalta S., M. T., Sánchez D., T. (2005). *Satisfacción de Enfermería. ¿Sé cumplen nuestras expectativas?*, Enfermería Cardiovascular, Index FAC. Cuarto Congreso Virtual de Cardiología. Toledo España.
14) Fajardo T., ME y Germán B., C. (2004b), *Influencia del género en el reconocimiento de los cuidados enfermeros visibles e invisibles. Index Enferm* [online]. vol.13, n.46, pp. 09-12. ISSN 1132-1296.




IMC = t² ÷ p

$$\sum_{i=1}^{n} i^k = 1 + 2^k + \cdots + n^k$$

$$\sum_{i=1}^{n} i^3 = \frac{n^4}{4} + \sum_{i=1}^{n} \frac{(6i^2 - 4i + 1)}{4}$$

# ECUACIÓN QUE OBTIENE CON BUENA APROXIMACIÓN LA SUMA DE LOS PRIMEROS ENTEROS A CUALQUIER POTENCIA ENTERA POSITIVA

LUIS MANUEL MONTAÑO ZETINA*

*En este trabajo se presenta un análisis numérico para obtener un método sencillo que calcule la suma de los primeros enteros, de 1 hasta n, elevados a cualquier potencia entera k. El aspecto más importante durante el análisis fue la obtención de una expresión de sólo tres términos para calcular la suma final de manera precisa con una diferencia porcentual relativamente pequeña. Asimismo, se presenta un estudio de esta diferencia porcentual que compara la suma precisa y la exacta.*

Dr. Luis Manuel Montaño Zetina
Departamento de Física, CINVESTAV
Correo: lmontano@fis.cinvestav.mx

*Autor para correspondencia: Luis Manuel Montaño Zetina
Correo electrónico: lmontano@fis.cinvestav.mx
Recibido: 2 de Septiembre de 2013
Aceptado: 6 de Noviembre de 2013
ISSN: 2007-4530





## INTRODUCCIÓN

La teoría de números es una de las áreas más fascinantes de las matemáticas. Está llena de relaciones misteriosas entre los números enteros que han desafiado a las mentes más brillantes en el pasado y aún en la actualidad. Por ejemplo, la conjetura de Goldbach [4] (todavía no resuelta), el misterio de los números primos [1], el teorema de Fermat (resuelto hace menos de 20 años) [3], [5], entre muchos otros, son sólo algunos ejemplos de los trabajos que los matemáticos, y no sólo ellos, han dedicado toda su vida a resolver o al menos a dar una contribución significativa a la solución de cada uno de ellos.

Dentro del área de la teoría de números existen, las llamadas series o sumas de números enteros. Por ejemplo, una de las series más conocidas es la suma de los primeros enteros como se muestra abajo:

$$\sum_{i=1}^{n} i = 1 + 2 + 3 + \ldots + n,$$

la solución de la ecuación 1 es bien conocida: $n(n + 1)/2$.

Con esto, una pregunta natural que surge es: ¿Cuál es la solución para esta clase de serie para los casos en que los números enteros $i$ están elevados a cualquier potencia entera $k$? Por ejemplo, para $k = 2$ la respuesta es también conocida: $n(n + 1)(2n + 1)/6$.

¿Existirá un método general para encontrar una solución para cualquier potencia $k$?

$$\sum_{i=1}^{n} i^k = 1 + 2^k + \cdots + n^k$$

En la obra original de Jacob Bernoulli, su famoso tratado Ars Conjectandi [2] publicado en Basilea en 1713, ocho años después de su muerte, muestra la manera de obtener los polinomios que dan como resultado la suma de los primeros enteros a cualquier potencia *k*. Para obtener estos polinomios se necesitan calcular los llamados números de Bernoulli ($B_n$), los cuales se obtienen, entre otras maneras, con una ecuación encontrada por Euler:

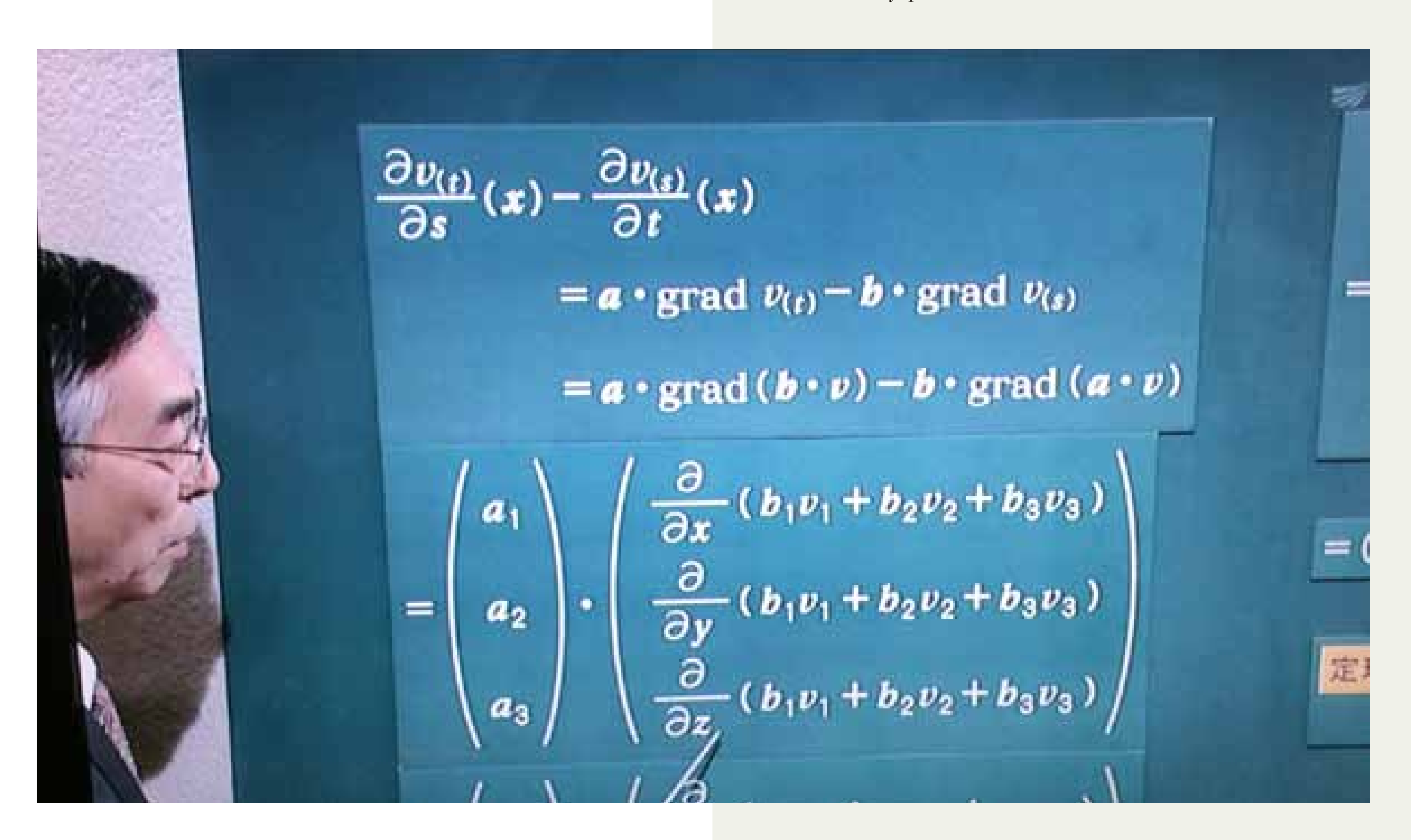
$$\frac{x}{e^x - 1} = \sum_{n=0}^{\infty} B_n \frac{x^n}{n!}$$

Este trabajo está dividido de la siguiente manera: en la sección 2 se obtiene la expresión general para encontrar la suma de los primeros enteros para cada valor de *k*. Asimismo, se encuentra una expresión para obtener los coeficientes llamados *F*, equivalentes a los de Bernoulli. Posteriormente, en la sección 3 se describen algunas características de estos coeficientes *F*. En la sección 4 se propone una expresión simple para la solución general, ésta se compara con la solución exacta para estudiar la diferencia porcentual que existe entre ambas cantidades.

## UNA EXPRESIÓN GENERAL PARA LA SUMA DE LOS PRIMEROS ENTEROS A UNA POTENCIA ENTERA *k*

Empecemos obteniendo una expresión general para la suma de los primeros enteros a cualquier potencia entera *k*. Nótese que:

$$\sum_{i=1}^{n} \left[ i^k - (i-1)^k \right] = n^k, \qquad (1)$$



lo que significa que todos los enteros, a excepción del último se cancelarán, es decir, quedará sólo el número $n$. Ahora, simplifiquemos esta expresión tomando el término $(i\text{-}1)^k$.

$$(i-1)^k = i^k - ki^{k-1} + \frac{k(k-1)}{2!}i^{k-2} - \cdots + (-1)^k = \sum_{l=0}^{k}\binom{k}{l}(-1)^l i^{k-l}. \qquad (2)$$

Desarrollando los primeros dos términos de la segunda parte de la ecuación (2) obtenemos:

$$(i-1)^k = i^k - ki^{k-1} + \sum_{l=2}^{k}\binom{k}{l}(-1)^l i^{k-l}. \qquad (3)$$

Introduciendo (3) en la ecuación (1) llegamos a:

$$\sum_{i=1}^{n} ki^{k-1} - \sum_{i=1}^{n}\sum_{l=2}^{k}\binom{k}{l}(-1)^l i^{k-l} = n^k,$$

o, añadiendo 1 a $k$ tenemos:

$$\sum_{i=1}^{n} i^k = \frac{n^{k+1}}{k+1} + \frac{1}{k+1}\sum_{i=1}^{n}\sum_{l=2}^{k+1}\binom{k+1}{l}(-1)^l i^{k-l+1}. \qquad (4)$$

Cabe notar que el último término de esta ecuación está relacionado con el triángulo de Pascal. Así podemos construir cualquier solución particular para cada $k$ tomando, salvo los dos primeros, todos los coeficientes de un renglón particular de este triángulo, alternando el signo, comenzando con el positivo. Por ejemplo, si queremos obtener la solución para el caso $k$=2 usando la ecuación (4) debemos hacer:

$$\sum_{i=1}^{n} i^2 = \frac{n^3}{3} + \sum_{i=1}^{n}\frac{(3i-1)}{3}.$$

Desarrollando la suma de la parte derecha, y sabiendo la solución para el caso previo $k = 1$ la solución final es:

$$\sum_{i=1}^{n} i^2 = \frac{n^3}{3} + \frac{n^2+n}{2} - \frac{n}{3},$$

dando como resultado $n(n+1)(2n+1)/6$. Como se puede apreciar, se usó la tercera línea del triángulo de Pascal (1,3,3,1) excluyendo los dos primeros coeficientes y alternando el signo. Para ser aún más claros, abajo se muestra el caso con $k$=3 (recuérdese la cuarta línea del triángulo de Pascal (1,4,6,4,1).

$$\sum_{i=1}^{n} i^3 = \frac{n^4}{4} + \sum_{i=1}^{n}\frac{(6i^2-4i+1)}{4}.$$

Por tanto uno puede ir adelante con este procedimiento para obtener cualquier solución; los requisitos son: saber la solución anterior de $k$ y algo de álgebra.

En este punto es interesante saber si existe una ecuación simple para obtener todas las soluciones sin tener que pasar por los dos requisitos mencionados arriba, ya que será cada vez más difícil obtener el resultado al incrementarse el valor de $k$. Procedamos a desarrollar el último término de la ecuación (4):

$$\sum_{i=1}^{n} i^k = \frac{n^{k+1}}{k+1} + \frac{k}{2!}\sum_{i=1}^{n} i^{k-1} - \frac{k(k-1)}{3!}\sum_{i=1}^{n} i^{k-2} + \ldots + \frac{n}{k+1}(-1)^{k+1} \qquad (5)$$

Podemos ver que para continuar con la búsqueda de una solución simple se tiene que sustituir la solución previa al segundo término de la segunda parte de la ecuación (5), la cual será de la misma estructura, pero con la potencia $k$-1. Sustituyendo este término obtenemos,

$$\sum_{i=1}^{n} i^k = \frac{n^{k+1}}{k+1} + \frac{k}{2!}\left(\frac{n^k}{k} + \frac{k-1}{2}\sum_{i=1}^{n} i^{k-2} - \cdots + \frac{n}{k}(-1)^k\right) - \frac{k(k-1)}{3!}\sum_{i=1}^{n} i^{k-2} + \cdots + \frac{n}{k+1}(-1)^{k+1}$$

$$= \frac{n^{k+1}}{k+1} + \frac{n^k}{2!} + \left( \frac{k(k-1)}{4} - \frac{k(k-1)}{3!} \right) \sum_{i=1}^{n} i^{k-2} + \cdots + \frac{n}{k+1}(-1)^{k+1} \qquad (6)$$

Como se puede apreciar, existirán algunos coeficientes que multiplicarán las sumas de *i* elevada a la *k* menos 1, 2, 3, etc. Por ejemplo, en el caso de la potencia *k*-1 habrá dos coeficientes, para *k*-2 habrá cuatro. En general, habrá para la potencia k-*l*, $2^l$ coeficientes.

Entonces, sustituyendo todas las sumas de la misma estructura de la ecuación (5), obtendremos los valores de todos estos coeficientes. La estructura final de la suma es:

$$\sum_{i=1}^{n} i^k = \frac{n^{k+1}}{k+1} + F_1 n^k + kF_2 n^{k-1} + k(k-1)F_3 n^{k-2} + \cdots + k!F_k n, \qquad (7)$$

donde las $F_j$ son equivalentes a los números de Bernoulli, $B_n$.

Para obtener los valores de $F_j$ se tendrían que desarrollar todos los términos y hacer sustituciones para cada caso. Para $F_1$ se vio que el valor era 1/2; el valor de $F_2$ se obtiene del paréntesis de la ecuación (6) y es igual a 1/12. $F_3$ es el resultado de la suma de las cuatro fracciones y $F_4$ de las ocho fracciones y así sucesivamente.

Una manera más inteligente de obtener todas las $F_j$ es la siguiente: la ecuación (13) da solución para cualquier *n*, asimismo para *n*=1. Probemos esto con la primera de las $F_j$. Para *k*=1 en la ecuación (7) tenemos:

$$\sum_{i=1}^{n} i = \frac{n^2}{2} + F_1 n \cdot$$

Para *n*=1 la suma es igual a 1. Entonces $1/2+F_1=1$ y $F_1=1/2$ como se obtuvo anteriormente. Ahora para *k*=2 tenemos:

$$\sum_{i=1}^{n} i^2 = \frac{n^3}{3} + F_1 n^2 + 2F_2 n \cdot$$

De nuevo, para *n*=1 la suma es igual a 1. Entonces $1/3+F_1+2F_2=1$. Sabemos que $F_1=1/2$ por lo que $F_2=[1-(1/2+1/3)]/2=1/12$. Podemos proceder de esta manera para obtener todas las $F_j$. La estructura general para esta relación es:

$$F_k = \frac{1 - \left( \frac{1}{k+1} + F_1 + kF_2 + k(k-1)F_3 + \cdots + (k!/2)F_{k-1} \right)}{k(k-1)(k-2)\ldots(2)(1)}$$
$$= \frac{k}{(k+1)!} - \frac{\left(F_1 + kF_2 + k(k-1)F_3 + \cdots + (k!/2)F_{k-1}\right)}{k!} \qquad (8)$$

Podemos expresar la ecuación (8) como:

$$F_m = \frac{m}{(m+1)!} - \sum_{l=0}^{m-2} \frac{F_{l+1}}{(m-l)!} \qquad (9)$$

En la ecuación (9) se sustituyó el índice *k* con la letra *m* con la finalidad de evitar confusiones con la expresión final dada en la ecuación (7).

Calculemos con la ecuación (9) las primeras tres $F_m$. Para la $F_1$ es claro que sólo se toma en cuenta el primer término, es decir, la sumatoria en este caso no participa. Por tanto, $F_1=1/(1+1)!=1/2$ como era de esperarse. Para $F_2$ participa el primer término de la ecuación y un término de la sumatoria, es decir, $F_2=2/(2+1)!- F_1/2!=1/3-1/4=1/12$. Para $F_3$ participan el primer término de la ecuación y dos términos de la sumatoria, es decir, $F_3=3/(3+1)!- F_1/3!- F_2/2!=1/8-1/12-1/24=0$. De esta manera obtenemos correctamente todos los coeficientes $F_m$ necesarios dependiendo el valor de *k*.

Por tanto, la doble sumatoria presente en la ecuación (4) se puede expresar con la ecuación (7)

reescrita abajo,

$$\sum_{i=1}^{n} i^k = \frac{n^{k+1}}{k+1} + \sum_{m=1}^{k} \frac{k!}{(k-m+1)!} F_m n^{k-m+1}, \qquad (10)$$

donde las $F_m$ están dadas por la ecuación (9).

Para mayor claridad en cómo aplicar ambas ecuaciones daremos un ejemplo para calcular la expresión completa para el caso $k$=7. Supondremos que ya se calcularon las $F_m$ hasta la $F_7$ (ver en la siguiente sección la tabla 1) habiendo previamente calculado las seis $F_m$ anteriores. Se procede por tanto con la ecuación (7).

$$\sum_{i=1}^{n} i^7 = \frac{n^8}{8} + \sum_{m=1}^{7} \frac{7!}{(8-m)!} F_m n^{8-m}.$$

Desarrollando la suma se obtiene:

$$\sum_{i=1}^{n} i^7 = \frac{n^8}{8} + F_1 n^7 + 7F_2 n^6 + 7\cdot 6F_3 n^5 + 7\cdot 6\cdot 5F_4 n^4 + \cdots + 7\cdot 6\cdot 5\cdot 4\cdot 3\cdot 2F_7 n$$

Sustituyendo los valores de las $F_m$ nos queda:

$$\sum_{i=1}^{n} i^7 = \frac{n^8}{8} + \frac{n^7}{2} + \frac{7n^6}{12} - \frac{210n^4}{720} + \frac{2520n^2}{30240}$$

Rearreglando las fracciones a un mínimo común divisor obtenemos:

$$\sum_{i=1}^{n} i^7 = \frac{3n^8 + 12n^7 + 14n^6 - 7n^4 + 2n^2}{24},$$

siendo la expresión correcta.

## CARACTERÍSTICAS DE LOS COEFICIENTES $F_m$

Como presentamos en la sección anterior, se redujo la ecuación (4) a dos ecuaciones, ambas con una sola suma. Para obtener los valores de todas las $F_m$ se desarrolló un programa recursivo en lenguaje C++ con el cual se obtuvieron los valores que se muestran en la tabla 1.



Tabla 1. Valores de $F_m$ para $m$=1,2,…,15.

| m | $F_m$ | $F_m$ (fracción) |
|---|---|---|
| 1 | 0.5 | 1/2 |
| 2 | 0.08333 | 1/12 |
| 3 | 0 | 0 |
| 4 | -0.0013889 | -1/720 |
| 5 | 0 | 0 |
| 6 | 0.00003306889 | 1/30240 |
| 7 | 0 | 0 |
| 8 | -0.00000082672223 | -1/1209600 |
| 9 | 0 | 0 |
| 10 | 0.000000020876888 | - |
| 11 | 0 | 0 |
| 12 | -5.28419E(-10) | - |
| 13 | 0 | 0 |
| 14 | 1.33825E(-11) | - |
| 15 | 0 | 0 |

Se puede apreciar que los coeficientes $F_m$ con índice impar, a excepción de $F_1$ son cero, como sucede con los números de Bernoulli. Pero, a diferencia con estos últimos, las $F_m$ van siendo cada vez mucho menores que las precedentes, lo que no sucede con las $B$s. Para mayor claridad se muestran los primeros números de Bernoulli en la tabla 2.

Tabla 2. Números de Bernoulli $B_n$ para $n$=1,2,...,15.

| n | Bn (fracción) |
|---|---|
| 1 | **1/2** |
| 2 | **1/6** |
| 3 | **0** |
| 4 | **-1/30** |
| 5 | **0** |
| 6 | **1/42** |
| 7 | **0** |
| 8 | **-1/30** |
| 9 | **0** |
| 10 | **5/66** |
| 11 | **0** |
| 12 | **-691/2730** |
| 13 | **0** |
| 14 | **7/6** |
| 15 | **0** |

Por tanto, lo novedoso de esta manera de recalcular los coeficientes semejantes a los de Bernoulli es que podemos aproximar la solución exacta para cualquier $n$ y $k$ a una expresión sencilla y con una precisión que analizaremos más adelante. Esto es debido a que llegará un momento

en que muchos de los términos de cualquier serie que se desee calcular, no contribuirán significativamente a la solución.

Tomando en cuenta esto, podemos observar que de todas las soluciones los primeros tres términos con potencias $k$+1, $k$ y $k$-1 están siempre presentes. Posteriormente los siguientes términos $n$ aparecen con potencias $k$-1 menos dos sucesivamente. Las funciones impares $F_m$ que dieron cero explican este hecho.

También podemos notar que al incrementar el valor de $k$, los términos para cada solución aumentan. Por tanto, hacer el esfuerzo de encontrar una solución exacta valdrá la pena cuando exista el interés de saber la suma total para un valor de $n$ relativamente grande. No tiene sentido obtener el resultado de la suma para un caso en el que, por ejemplo, $n$ sea 4 elevado a la potencia $k$=10 usando la fórmula correspondiente. Sería más fácil sumar 1 a la 10, más 2 a la 10, y así sucesivamente en lugar de sustituir el valor $n$=4 y $k$=10 en la ecuación. Para el interesado en calcular alguna suma con $n$ y $k$ relativamente grandes, estas soluciones serán útiles para un valor grande de $n$ y al menos dos veces mayor que el valor de la potencia $k$.

Tomando esto en cuenta y observando cada solución, vemos que los términos principales de cada una de ellas son los primeros tres, ya que el cuarto término es dos veces menor en orden de magnitud, aunado a que es multiplicado por un coeficiente relativamente pequeño ($F_4$). Asimismo sucede con los demás términos; son dos órdenes de magnitud menor y multiplicados por coeficientes cada vez mucho menores que los anteriores. Esto no sucede con los números de Bernoulli. Aunque aplicar este método con las $F_m$ y como lo hizo Bernoulli con sus $B_n$ dan la respuesta exacta para cada caso de $k$, es a través de las $F_m$ como podemos proponer que los términos posteriores al tercero se pueden despreciar para obtener un resultado aproximado. Con los números de Bernoulli se tendría que ver cuanto contribuyen término a término para hacer este corte. Con esto hemos dado una buena aproximación para obtener la suma proponiendo otros coeficientes diferentes a los de Bernoulli. Esta es la contribución principal de este trabajo.

Por tanto, nos vemos tentados en estudiar qué tan cercano sería el resultado de la suma total con sólo estos tres términos a la suma total exacta. Entonces se procederá a cortar la serie para todas las soluciones anteriores a sólo los primeros tres elementos y calcular el grado de aproximación comparado con la suma real.

## COMPARANDO LA SOLUCIÓN APROXIMADA CON LA EXACTA

Cuando se aplica este cálculo a otros valores de $k$, como arriba se hizo el ejemplo de $k$=7, se puede notar que, con excepción del primer caso $k$=1, cada una de las soluciones se puede obtener con la aproximación:

$$\sum_{i=1}^{n} i^k \cong \frac{n^{k+1}}{k+1} + \frac{n^k}{2} + \frac{kn^{k-1}}{12}, \quad (11)$$

que es el resultado de tomar sólo los primeros tres elementos de la ecuación 18. De nuevo, se realizó un programa en lenguaje C++ para calcular la solución aproximada y la exacta para compararlas. El resultado se ve en una gráfica que muestra la diferencia porcentual igual al valor aproximado menos el valor real todo dividido por el valor real multiplicado por 100. La gráfica la podemos ver en la Fig. 1.

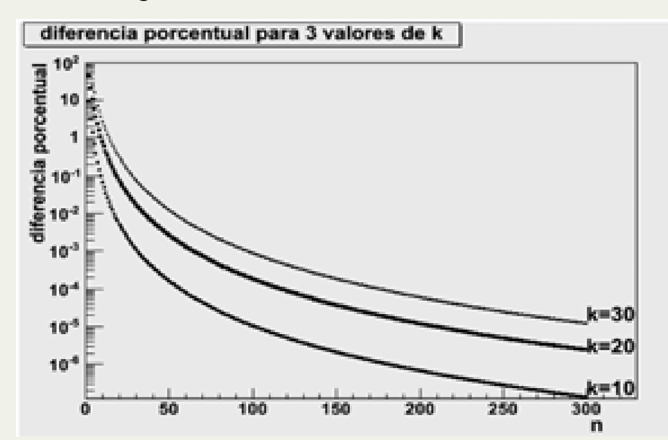



Figura 1. Diferencia porcentual para tres valores de $k$=*10, 20 y 30* y $n$=1 a 300.

Con esta comparación, se puede notar que para un valor relativamente grande de $n$ la solución exacta *vs* la ecuación (11) difiere solamente por una milésima de por ciento o menos.

El lector puede programar en el lenguaje que desee la ecuación (9) y (10) para obtener la solución exacta y hacer sus propias comparaciones para otros casos. Con esto se apreciará, en tiempo máquina, como la solución aproximada es potente y rápida con un buen grado de precisión.

## CONCLUSIONES

En este trabajo se encontró un método simple para obtener la soluciones para obtener la suma de los primeros enteros a cualquier potencia $k$. Aunque este método es equivalente al encontrado por Bernoulli junto con sus números $B_n$, tiene la ventaja que a través de las $F_m$ se ve más clara la motivación de proponer un corte para cualquier caso $k$. Proponiendo la ecuación (11), se puede encontrar con muy buena aproximación el resultado de la suma para cualquier valor $n$ y $k$, con una diferencia porcentual relativamente pequeña.

## BIBLIOGRAFÍA

1) Derbyshire, J. (2003). *Prime obsession*. Plume Book.
2) Havil, J. (2003). *Gamma: exploring Euler's constant*. Princeton.
3) Singh, S. (1998). *El enigma de Fermat*. Planeta.
3) Stanley, O. y Anderson, T. (1988). *Excursions in number theory*. Dover.
5) Wiles, A. (1995). *Modular elliptic curves and Fermat's Last Theorem*, Annals of Mathematics No. 142, 443-551

# APLICACIÓN DE LA TÉCNICA DE SEPARACIÓN GRANULOMÉTRICA POR VÍA HÚMEDA PARA DETERMINAR EL ORIGEN DEL Fe EN ZEOLITAS NATURALES

ABRAHAM MENDOZA CÓRDOVA*, JESÚS ROBERTO VIDAL SOLANO, NOHEMY S. FLORES LÓPEZ, RAFAEL RAMÍREZ BON, MARIO FLORES ACOSTA

*Las zeolitas son un grupo de minerales considerados industriales ya que por sus características físicas y químicas tienen una aplicación muy amplia. La fórmula general de las zeolitas es la siguiente:* $M_x D_y (Al_{x+2y} Si_{n-(x+2y)} O2_n).mH_2 O$*, donde M y D representan cationes intercambiables que pueden balancear la carga negativa de la molécula* $AlO_2$*, dichos cationes generalmente son elementos alcalinos y alcalinotérreos como Na, K y Ca.*

*Sin embargo, al revisar la composición química de algunas zeolitas estudiadas en Sonora y en otros lugares del mundo, llama la atención la presencia de Fierro en una proporción muy similar a la de los elementos alcalinos y alcalinotérreos, normalmente representados por más del 1% (principalmente el Ca). Particularmente se experimentó con zeolitas del yacimiento de La Palma en Sonora, para probar que el Fierro presente en las zeolitas corresponde a una mezcla de minerales como magnetita y hematita, demostrando que no se encuentra formando parte de la estructura de la zeolita como catión intercambiable.*

M. C. Abraham Mendoza-Córdova
Departamento de Geología, Universidad de Sonora
Correo: mendozacordova@ciencias.uson.mx
Dr. Jesús Roberto Vidal-Solano
Departamento de Geología, Universidad de Sonora
Correo: jrvidal@ciencias.uson.mx
M. C. Nohemy S. Flores-López
Posgrado CIFUS-UNISON
Correo: nohemy_cn269@hotmail.com
Dr. Rafael Ramírez-Bon
Centro de Investigación y Estudios Avanzados del I.P.N. Unidad Querétaro
Correo: rrbon@qroc.cinvestav.mx
Dr. Mario Flores-Acosta
Departamento de Investigación en Física, Universidad de Sonora
Correo: mflores@cifus.uson.mx

*Autor para correspondencia: Abraham Mendoza Córdova
Correo electrónico: mendozacordova@ciencias.uson.mx
Recibido: 25 de Septiembre de 2013
Aceptado: 19 de Noviembre de 2013
ISSN: 2007-4530





## USO DE LAS ZEOLITAS

La aplicación de las zeolitas como mineral industrial es inmenso, sus propiedades físicas y químicas permiten darles diferentes usos. En general, las zeolitas actúan como filtros o tamiz molecular, dado que estructuralmente se caracterizan por ser un grupo de minerales altamente porosos con cavidades de dimensiones moleculares de 8 a 10 Angstrom. Además, contienen grandes iones y moléculas de agua con libertad de movimiento, para así poder permitir el intercambio iónico. Por lo tanto, las zeolitas son buenos filtros para limpiar suelos y aire; en el tratamiento de aguas, tanto potable como aguas residuales, pero también se utilizan como filtros para la extracción de metales pesados de algún medio.

## GEOQUÍMICA DE LAS ZEOLITAS

El nombre de este grupo de minerales deriva del griego "zein" y "lithos" que significa: "piedra que hierve", dado que cuando se calientan a altas temperaturas, se hinchan y desprenden burbujas. Su origen puede derivarse de múltiples materiales, siendo algunos precursores los vidrios volcánicos, los minerales aluminosilicatados e incluso otras zeolitas. El precursor más común para formar estos minerales son los vidrios volcánicos de composición rica en *sílice (ácida a intermedia)*. Mineralógicamente las zeolitas son un grupo de minerales que corresponden a la clase de los silicatos (tectosilicatos) y químicamente son considerados como aluminosilicatos hidratados que cuentan con metales alcalinos y alcalinotérreos como iones intercambiables. La unidad fundamental de estos minerales está constituida por átomos de Al-O-Si formando tetraedros de $SiO_4$ y $AlO_4$. La unión de los tetraedros da como resultado una estructura cristalina con cavidades interconectadas por canales de dimensiones nanométricas. La fórmula general de las zeolitas es la siguiente: $M_x D_y (Al_{x+2y} Si_{n-(x+2y)} O_{2n}) \cdot mH_2O$, donde M y D representan cationes intercambiables que pueden balancear la carga negativa de la molécula $AlO_2$, generalmente son elementos como el Na, K y Ca, aunque también pueden aparecer a nivel de trazas el Mg, Ba, Sr y Li.

Sin embargo, al revisar la composición química de algunas zeolitas estudiadas en Sonora (1) y en algunos lugares del mundo, como en China (2), en Irán (3) y en Corea (4), aparece Fierro en una proporción muy similar a la de los elementos alcalinos y alcalinotérreos (Na, K, Ca), que normalmente cada uno de estos elementos representa *más del 1% (principalmente el Ca)* (Tabla 1). Particularmente se experimentó *con zeolitas del yacimiento La Palma, municipio de* Divisaderos, Sonora, para probar que el Fierro no se encuentra como catión intercambiable formando parte de la estructura del mineral, por lo menos en esas cantidades.



Tabla 1. Composición química de tres localidades de zeolitas en el mundo, el resto son del Estado de Sonora. En general se puede ver que el Fe aparece en una proporción muy similar al Ca y el K.

| LOCALIDAD | Ca | Na | K | Fe |
|---|---|---|---|---|
| | (%) | | | |
| China | 3.17 | 2.31 | 0.88 | 1.04 |
| Irán | 3.10 | 2.00 | 2.10 | 1.30 |
| Corea | 3.20 | 1.80 | 2.50 | 1.57 |
| Ures | 2.62 | 1.55 | 1.61 | 0.96 |
| Divisaderos | 3.44 | 2.68 | 0.71 | 0.85 |
| El Cajón | 3.10 | 0.58 | 3.95 | 1.19 |
| Tetuachi | 3.51 | 1.06 | 1.64 | 0.51 |
| Agua Prieta | 2.42 | 1.75 | 4.30 | 0.94 |
| Huásabas | 3.89 | 0.58 | 0.80 | 1.37 |
| Mazocahui | 4.55 | 0.20 | 0.88 | 1.07 |
| Tepoca | 5.00 | 0.87 | 1.92 | 5.55 |
| Nogales | 3.04 | 1.16 | 2.43 | 0.88 |

## EXPERIMENTACIÓN

### Preparación de la muestra

La parte experimental del presente trabajo comenzó con la toma de muestras colectadas del yacimiento La Palma, Sonora. Posteriormente, se pasó al proceso de preparación de las muestras que consiste en la trituración de las mismas en forma manual haciendo uso de un martillo, una vez que se tritura al tamaño de entre una y dos pulgadas, la muestra pasa a ser pulverizada haciendo uso de un molino marca Herzog, con un contenedor de la muestra de carburo de tungsteno, aclarando que por la composición del contenedor se puede descartar contaminación alguna que pueda afectar a los resultados de los análisis posteriores; el tamaño que se obtiene en las partículas es de 0.075 mm (malla 200) que representa un tamaño óptimo para realizar este experimento.



### Separación granulométrica en un medio acuoso

El proceso mediante el cual se logra separar el Fierro de la zeolita consiste en colocar la muestra en un vaso de precipitado con agua desionizada, ya que al dejar la muestra en reposo por un determinado tiempo precipitan las partículas de mayor tamaño y/o las más densas (denominada como muestra del fondo), mientras que en la parte media y superior, permanecen suspendidas las partículas más finas y/o menos densas (denominada como muestra flotante).

Al fondo del vaso puede notarse manchas negras que corresponden a óxidos de fierro; éstos por su mayor tamaño han logrado precipitar y han sido determinados como magnetita ya que pueden colectarse utilizando un imán, además en el residuo es notorio un tono amarillo intenso correspondiente a una facies más pura de zeolita. Una vez que las fracciones de mayor tamaño (zeolita) junto con la fracción de mayor densidad (óxidos de fierro) han precipitado totalmente, se procede a filtrar la muestra flotante, la cual representa a la fracción menos densa por su tamaño y la ausencia de minerales pesados, mientras tanto, la muestra del fondo se expone al sol para eliminar la humedad y después ser analizada. En la figura 1 se ilustra parte del proceso de experimentación.




Figura 1. A) Se puede ver la concentración (manchas negras) de minerales pesados que se han separado de la zeolita por gravedad; B) Separación de la fracción flotante de la fracción del fondo para ser filtrada; C) Muestra del fondo expuesta al sol para ser secada.

## TÉCNICAS ANALÍTICAS

Para llegar a una conclusión en la investigación se seleccionaron técnicas analíticas con las cuales se pudiera medir tanto el componente cualitativo como el cuantitativo de la muestra tratada.

La técnica de difracción de rayos X (DRX) fue utilizada tanto para determinar la variedad de zeolita (Chabazita, según tarjeta JCPDS 00-034-0137), como para reconocer los cambios en la estructura cristalina del mineral al que se la ha dado un tratamiento. El equipo utilizado fue un difractómetro marca Bruker modelo D8-Advance con radiación CuKα y λ=1.5406 Å, las condiciones de trabajo para la fuente fueron de 35 Kv y 25 Ma. En la figura 2 se muestran difractogramas de las tres distintas fracciones de la zeolita en los cuales es evidente que la fracción flotante (sin Fe) tiene menos picos que las otras dos fracciones, principalmente que la fracción del fondo donde se ha concentrado magnetita y barita, dando lugar a nuevos picos, los cuales no corresponden precisamente a magnetita.

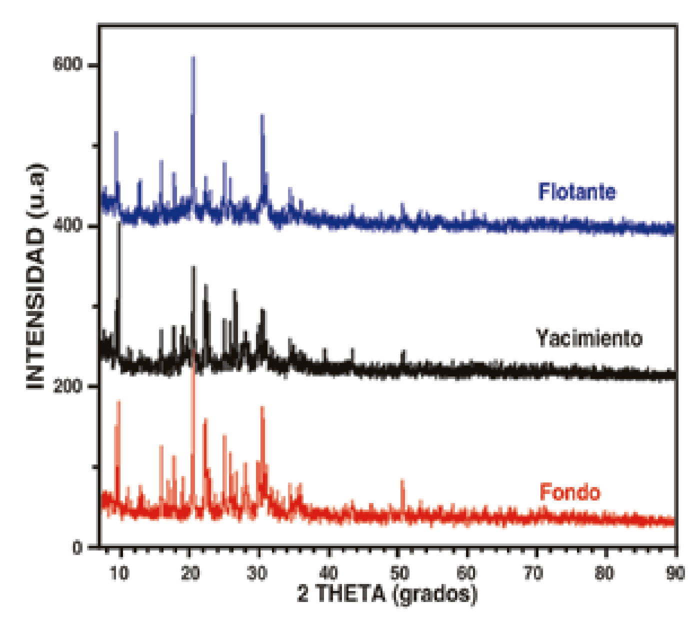



Figura 2. Difractogramas de la muestra del yacimiento (sin haber sido modificada), de la muestra del fondo que se ha enriquecido con fierro por precipitación, y de la muestra flotante que se ha separado del fierro.

Para la obtención de imágenes de las diferentes fracciones de la muestra se utilizó el Microscopio Electrónico de Barrido o SEM (*Scanning Electron Microscope*) marca JEOL, modelo JSM-5410LV, equipado con un espectrómetro de energía dispersiva de rayos X o EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy*), marca Oxford. Las muestras fueron preparadas al dispersar polvo sobre cinta de carbón especial para la caracterización con este equipo. En la figura 3, se muestran las imágenes de SEM en las que el tamaño de las partículas está íntimamente relacionado con la textura y la tonalidad que se aprecia en las imágenes, como con las diferentes proporciones de Fe de acuerdo a los resultados obtenidos con EDS.

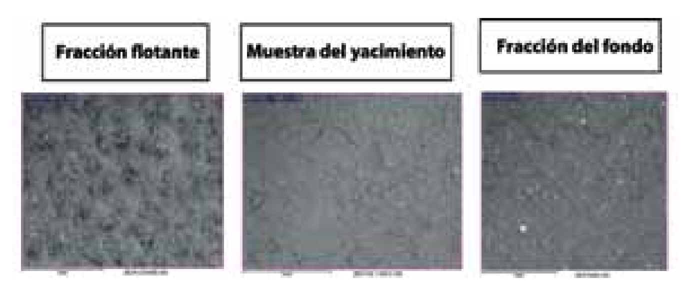



Figura 3. Imágenes de SEM donde la granulometría determina el tono y la textura de la muestra, en el caso de la muestra de fondo aparecen puntos blancos muy visibles que corresponden al mineral barita, tomando en cuenta la alta densidad y los altos valores de Ba en esa fracción.

El análisis de composición química de las muestras obtenidas se realizó con: EDS (espectroscopía de energía dispersiva), FRX (fluorescencia de rayos-X), XPS (espectroscopía de fotoelectrones de rayos-X) y Absorción Atómica; en la tabla 2 se pueden ver los resultados que indican los contenidos de Fierro para cada una de las tres fracciones; evidentemente los resultados tienen ciertas discrepancias, sin embargo, lo que queda muy claro es que todas las técnicas coinciden en el hecho de que a la muestra del yacimiento se le ha separado el Fierro por diferencia de densidad en un medio acuoso, lo cual se demuestra en el contraste de contenido de Fierro entre la fracción del fondo y la fracción flotante.

Tabla 2. Porcentaje de Fierro en las tres fracciones de zeolita obtenido con diferentes técnicas analíticas.

| TÉCNICA ANALÍTICA | MUESTRA FLOTANTE | MUESTRA DEL YACIMIENTO | MUESTRA DEL FONDO |
|---|---|---|---|
| | (%) | | |
| EDS | 0.17 | 1.98 | 2.91 |
| FRX | 1.90 | 2.54 | 3.60 |
| XPS | 0.36 | 0.36 | 0.82 |
| ABS-ATÓMICA | 1.20 | 1.73 | 1.98 |

## CONCLUSIONES

Del presente trabajo se ha podido concluir que el papel que juega el Fierro detectado en altas concentraciones en las zeolitas naturales del yacimiento sonorense de Divisaderos, en realidad corresponde a minerales que se presentan como impurezas de manera intersticial como óxidos de fierro de tipo hematita y/o magnetita. Este componente no ocurre en forma de iones intercambiables que forman parte de la composición química de la zeolita, por lo menos no en esas proporciones elevadas. Los resultados de los análisis bajo las técnicas de EDS, FRX, XPS, SEM y Absorción Atómica muestran que las fracciones de zeolita obtenidas en este experimento disminuyen considerablemente en Fe bajo una flotación, observando por medio de SEM una relación; sin embargo, el porcentaje de Fe para las muestras de zeolita de la fracción flotante, aún parecen ser levemente altos, lo cual puede derivar del hecho de que al separar la fracción flotante de la fracción del fondo para llevarla al filtro, una cantidad de la fracción del fondo se pasa a la fracción flotante.

## BIBLIOGRAFÍA

1) Cocheme, J.J., Lassauvagerie, A.C., González-Sandoval, J., Pérez-Segura, E., Munch, P. (1996), *Characterization and potential economic interest of authigenic zeolites in continental sediments from NW Mexico,* Mineralium Deposita., Vol. 31(6), 1996, p. 482-491.
2) Wang, Y., Lin, F. (2009), *Synthesis of high capacity cation exchangers from a low-grade Chinese natural zeolite,* Journal of Hazardous Materials. Vol. 166(2-3), 2009, p. 1014-1019.
3) Kamali, M., Vaezsifar, S., Kolahdouzan, H., Malekpour, A., Abdi, M. (2009), *Synthesis of nano zeolite A from natural clinoptilolite and aluminum sulfate; optimization of the method***,** Powder Technology, Vol. 189, p. 52-56.
4) Kang, S., Egashira, K. (1997), *Modification of different grades of Korean natural zeolites for increasing cation exchange capacity*, Applied Clay Science, Vol. 12(1), 1997, p. 131-144.



# DISEÑO DE UN LABORATORIO REMOTO DE ROBOTS Y PROCESOS DE MANUFACTURA INDUSTRIALES

RAFAEL CASTILLO ORTEGA*, MARÍA DEL RUBÍ SALAZAR AMADOR, MILKA DEL CARMEN ACOSTA ENRÍQUEZ

*El presente artículo aborda el diseño de un Laboratorio Remoto de Robots y Procesos de Manufactura Industriales. Primero se presenta el estado del arte y después se expone una propuesta que consiste en acceder por software al escritorio remoto de las PC que controlan dichos dispositivos y también acceder por hardware a un dispositivo diseñado para manipular el Teach pendant (consola de programación) de los robots industriales para su programación sin modificar tanto el software propietario como el hardware original de cada equipo. Se utilizó un servidor web tipo LAMP programado con software libre para la administración del uso de los equipos; la retroalimentación de los usuarios remotos se realizó mediante monitoreo con cámaras IP.*

M.C. Rafael Castillo Ortega
Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de Sonora
Correo: rcastillo@industrial.uson.mx

Dra. María del Rubí Salazar Amador
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla
Correo: rubi.salazar@upaep.mx

Dra. Milka del Carmen Acosta Enríquez
Departamento de Investigación en Física, Universidad de Sonora
Correo: milka@cifus.uson.mx

*Autor para correspondencia: Rafael Castillo Ortega
Correo electrónico: rcastillo@industrial.uson.mx

Recibido: 10 de Septiembre de 2013
Aceptado: 14 de Noviembre de 2013
ISSN: 2007-4530





## INTRODUCCIÓN

Existen diferentes tipos de laboratorios en la educación, Lorandi *et al.* los clasifican como Laboratorios convencionales (LC), Laboratorios virtuales, (LV), Laboratorios remotos (LR), muestran las ventajas y desventajas de los LR y LV (1), así como ejemplos de cada uno de ellos en el mundo y en nuestro país.

Recientemente en México se llevó a cabo la Reunión Nacional de la Corporación Universitaria para el Desarrollo del Internet (CUDI) en Ensenada, Baja California (2), en la cual se presentó una amplia variedad de laboratorios remotos y virtuales en México y en el mundo, en una comunidad de laboratorios compartidos basados en Internet 2. Entre las instituciones educativas nacionales que cuentan con dichos laboratorios destacan la UNAM, ITESM con varias sedes, CENIDET, CIAD, CIMAV, UASLP, Universidad Michoacana y Universidad de Sonora; entre las internacionales, está la Red Nacional Académica de Tecnología Avanzada (RENATA) de Colombia y la de la Universidad Nacional Agraria de Managua Nicaragua.

Un ejemplo de laboratorio remoto lo ofrecen Landino y Hurtado en su artículo "Laboratorio remoto para la enseñanza de la programación de un robot industrial" (3), en donde se describe la evolución del desarrollo y funcionamiento de un laboratorio remoto para la enseñanza de la automatización, por medio de una aplicación web, un software de acceso remoto que permite una conexión multiusuario independiente, y archivos que contienen códigos con comandos del símbolo del sistema. Con esto se logra administrar el laboratorio evitando conflictos de uso entre los usuarios. El objetivo es incrementar el tiempo de productividad y eliminar las restricciones de espacio y tiempo para la utilización de un robot manipulador de tipo industrial.

Por otra parte, se puede consultar el artículo de Caicedo *et al*. "Laboratorio distribuido con acceso remoto para la enseñanza de la robótica" (4) con los resultados de un proyecto de investigación aprobado y financiado por COLCIENCIAS, CINTEL, Universidad del Valle y Universidad del Quindío. Este laboratorio permite el desarrollo de sesiones prácticas interactivas a estudiantes de ambas universidades sobre plataformas móviles (Pioneer 3DX) y sobre brazos robóticos (Mitsubishi RV-2AJ). Las tareas normalmente desarrolladas involucran programación, supervisión y visualización, esta última usando video y/o una representación en 2D. Esta herramienta de enseñanza en robótica permite que estas dos costosas plataformas de experimentación puedan ser usadas colaborativamente por ambas universidades, mejorando la comunicación entre estudiantes, grupos de investigación y permitiendo el desarrollo de actividades educativas y/o investigativas multidisciplinares.

Adicionalmente, Macías *et al.* en la presentación "Laboratorios Remotos: Aprendizaje y entrenamiento a distancia", ITESM campus Monterrey CUDI (5) exponen los laboratorios remotos con los que cuentan, el eLab






y el TeleLab enlazando los campus Monterrey, Ciudad de México y Cuernavaca. También Saire y Gómez con “Plataforma de aprendizaje a distancia en automatización industrial empleando laboratorios remotos” (6) muestran la arquitectura necesaria para realizar un laboratorio remoto con dispositivos con redes *Asi* (*Actuador Sensor Interface*) utilizando internet.

Otro desarrollo importante fue presentado por Ariza y Amaya en su artículo “Laboratorio remoto aplicado a la educación a distancia” (7). Este trabajo muestra la arquitectura de un laboratorio remoto aplicado a la educación a distancia; a través de esta herramienta los estudiantes pueden realizar prácticas desde cualquier punto de conexión a internet.

Por su parte, Calvo *et al.* en su artículo “Laboratorios remotos y virtuales en enseñanzas técnicas y científicas” (8), exponen que en disciplinas técnicas y científicas, la realización de experimentos con plantas reales es fundamental para consolidar los conceptos adquiridos en las aulas teóricas. Este artículo muestra algunas de las opciones disponibles más utilizadas dentro del ámbito de la Ingeniería de Control con la intención de que estas prácticas puedan irse extendiendo a otras áreas del conocimiento.

Un trabajo basado en software libre, en específico Moodle, es el de García *et al.* y se intitula “Integración del laboratorio remoto WebLab-Deusto en Moodle” (9). Los autores presentan el laboratorio remoto de la Universidad de Deusto, WebLab-Deusto y proponen una integración de dicho sistema en Moodle para lograr una plataforma de *e-learning global*. El servicio que ofrece Moodle a la comunidad educativa actualmente es indudable y su éxito así lo demuestra. Los laboratorios remotos son la herramienta ideal para cubrir esta necesidad.

En este trabajo se propone el diseño de un laboratorio remoto que a diferencia de los anteriores no modifica el software y el hardware original de los equipos, sino que, mediante el acceso por escritorio remoto y hardware, se realiza el manejo del equipo. Esta propuesta es producto del proyecto de investigación “Laboratorio remoto para control de robots y procesos de manufactura industriales de la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla (UPAEP) y el Centro de Servicios de Alta Tecnología de la UPAEP (CESAT)”, con la colaboración de miembros de la Universidad de Sonora.

## DESARROLLO EXPERIMENTAL

Para el desarrollo de este trabajo se utilizó tecnología de vanguardia que emula un Sistema de Manufactura Flexible, FMS (*Flexible Manufacturing System*) para diversos procesos. Un FMS consiste de un grupo de estaciones de procesamiento, predominantemente máquinas herramientas de Control Numérico por Computadora (CNC), las cuales son interconectadas por medio de un sistema de manejo de recuperación de material automático. Lo que da su nombre al FMS es su capacidad de procesar una variedad de diferentes tipos de partes simultáneamente bajo un programa de CNC en varias estaciones, es flexible porque es capaz de procesar varios productos y cantidades de producción que pueden ser ajustadas en respuesta a los comportamientos de la demanda, que a diferencia de la manufactura tradicional no puede realizar.

En el caso propio, el laboratorio utiliza tecnologías de fabricación por arranque de viruta (torneado y fresado), y el control de procesos totalmente automatizados. El laboratorio cuenta con estaciones modulares de diferentes tecnologías como son:

1. Estación de almacenamiento.
2. Estación de transporte
3. Estación de enlatado
4. Celda de manufactura (2 máquinas CNC) y un robot (tipo Gantri) para carga y descarga de material.
5. Estación de control y monitoreo.
6. Robot F3 sobre una mesa de trabajo.

En las figuras 1 y 2 se muestra parte del laboratorio de manufactura flexible, el robot F3 sobre mesa de trabajo y el robot tipo Gantri de seis ejes.




Figura 1. Robot F3 sobre mesa de trabajo.




Figura 2. El robot tipo Gantri de seis ejes.

## PROPUESTA

Se utiliza un servidor LAMP, acrónimo usado para describir un sistema de infraestructura de internet que usa las siguientes herramientas:

1.- ***L***inux como sistema operativo. En este trabajo se emplea la distribución de UBUNTU.
2.- ***A***pache como servidor web.
3.- ***M***ySQL como gestor de bases de datos.
4.- ***P***erl, ***P***HP o ***P***ython son los lenguajes de programación.




Figura 3. Servidor Lamp.

La combinación de estas tecnologías es usada principalmente para definir la infraestructura de un servidor web (Figura 3).

Para administrar el acceso al laboratorio remoto se emplean los parámetros usuarios, contraseña y tiempo reservado de los equipos. También se habilitó por software el acceso a escritorio remoto y por hardware el acceso a un dispositivo diseñado para manipular remotamente una *Teach pendant* (consola de programación). Como retroalimentación del laboratorio se colocaron dos cámaras IP para ver en tiempo real los cambios que se realizan remotamente. Además se cuenta con micrófonos para monitorear alarmas sonoras en caso de ser activadas durante el uso del equipo.

## ESCRITORIO REMOTO Y CÁMARAS IP

El software utilizado es *TeamViewer* que se eligió en función de los parámetros: plataforma de sistema operativo, software libre, seguridad, estabilidad, etcétera. Las cámaras IP seleccionadas tienen movimiento a control remoto sobre su eje vertical y horizontal, además de controlar el zoom (Figura 4).




Figura 4. Cámara IP utilizada en el sistema remoto, en total se utilizaron dos cámaras.

## CARACTERÍSTICAS DE *TeamViewer*

*TeamViewer* es un programa para equipo de cómputo cuya función es conectarse remotamente a otro equipo. Entre sus funciones está compartir y controlar escritorios, reuniones en línea, videoconferencias y transferencia de archivos entre computadoras (Figura 5).




Figura 5. Software *TeamViewer*.

## DISPOSITIVO DISEÑADO PARA MANIPULAR EL *TEACH PENDANT*

Para la tele-operación de un robot industrial, algunos autores de artículos relacionados, tienen acceso al programa fuente que controla el robot y pueden abrir e interactuar con los circuitos físicos del mismo, el controlador, etcétera.

Las condiciones de entrada del diseño propuesto en este artículo son las siguientes:

1. El software es propietario y no se accede al código fuente.
2. El hardware no se modifica internamente, se opera de forma externa.

Bajo estas condiciones se diseñó el control del robot para operarlo remotamente. Esto brinda una metodología para operar cualquier robot sin modificar tanto el software como el hardware originales debido a que se opera a los robots con el software de fábrica y se añade el diseño de un dispositivo que controla el *teach pendant*.

Existen muchas clases y tipos de *teach pendant*, sin embargo las principales características son las siguientes (Figura 6):

1. Un *keypad* con un arreglo de interruptores *push button*. En el presente caso 5x9= 45.
2. Un *live-man switch* o *dead-man* que es un interruptor que habilita el teclado.
3. El *emergency-stop* o botón de paro de emergencia.
4. El *screen* o pantalla, que puede ser alfanumérica o una pantalla de computadora.
5. Una bocina o *pendant sounds*, que emite sonidos de alerta.
6. Un interruptor rotativo de operación, con el cual no se cuenta en este caso particular.

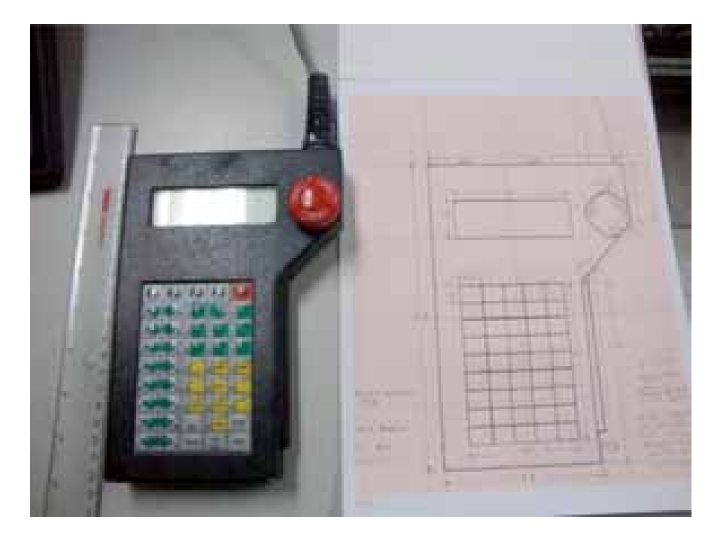


Figura 6. *Teach pendant* para el Robot F3.



## El modelo final tiene las siguientes características:

Se emplea tecnología electrónica de *National Instruments* en combinación con *Arduino* de entradas y salidas digitales para controlar los servomotores. De esta manera se posiciona el actuador exactamente en la ubicación del interruptor que se desea accionar. El robot cartesiano cuenta con movimientos en el espacio tridimensional *XYZ*, de manera que los movimientos en el plano *XY* permiten posicionar al robot en el botón correspondiente, y en la coordenada *Z* se mueve el actuador para presionar el interruptor deseado.

Por seguridad se cuenta con actuadores independientes para los botones de paro de emergencia y el interruptor *live-man*, con cinco actuadores para el panel de control del Robot F3, y con un actuador para paro de emergencia adicional. Asimismo, se realiza el monitoreo del display del *Teach pendant* mediante una cámara web con micrófono. Todo esto se controla a través de una PC por escritorio remoto.

Para el caso de los FMS que son banda transportadora, enlatadora y almacén vertical, únicamente se necesita tener acceso al escritorio remoto de cada uno para controlar sus procesos (Figura 7). Éstos a su vez dirigen los controladores lógicos programables (PLC) que están directamente involucrados en los mismos, de manera que no se modifica el software original. Los equipos CNC, torno y fresadora no fueron incluidos en el control remoto.

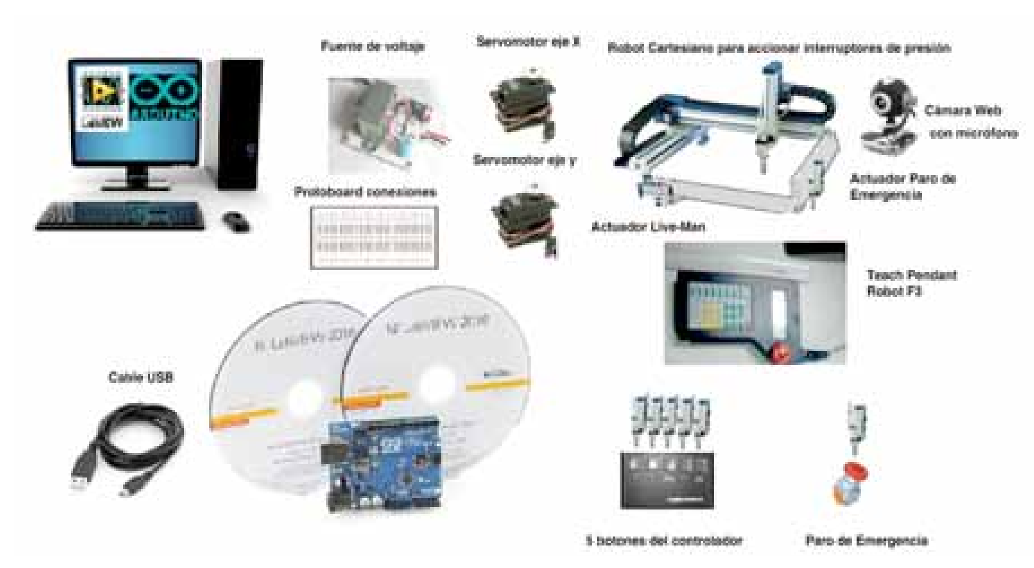



Figura 7. Prototipo para dispositivo de control.

## DIAGRAMA DE FLUJO

En la figura 8 se presenta el diagrama de flujo; en el Inicio la posición actual será la posición de *Home* en la coordenada (0, 0) y la posición deseada se inicializa en (0, 0). Posteriormente, se introduce el dato de nueva posición por medio de la interfase gráfica y se le asignan los valores de acuerdo a la tabla 1 del botón a la posición deseada en *X* y en *Y*. Si la posición deseada y la posición actual son la misma, entonces se puede habilitar la activación del actuador para presionar el botón deseado, si no es así se deshabilita la activación para que no salga el actuador cuando el robot cartesiano se mueva hacia la nueva posición. Después se compara la posición deseada con la posición actual y de acuerdo a la tabla 2, el motor del eje de las *X* girará a la derecha o a la izquierda. De igual manera se compara la posición deseada en *Y* de acuerdo a la tabla 2 y el motor del eje *Y* gira para subir o bajar hasta la posición deseada. Después de este proceso la posición deseada se convierte en la posición actual y como son iguales, al regresar habilitará la activación del actuador. Dicha activación se realiza con el botón derecho del mouse. Es importante mencionar que existe una opción de salida del algoritmo presionando Ctrl-Z, porque el algoritmo consta de un ciclo infinito.

Para desarrollar el diagrama de flujo se asignaron valores en coordenadas rectangulares a cada interruptor, los cuales se pueden elegir mediante el mouse en la página web, como se presenta en la tabla 1. De manera que, si se desea presionar un interruptor, se debe



dar clic en el botón deseado. En la tabla 2 se presenta el número de giros necesarios en el plano *XY* de los motores del actuador, para alcanzar la posición deseada.

Los motores están acoplados cada uno a tornillos sinfín, los cuales mueven una rosca en donde está colocado mecánicamente el actuador en los dos ejes. Dependiendo del paso del tornillo sinfín y el número de hilos se tendrá una relación del número de giros respecto a la distancia que se moverá la tuerca. En nuestro caso, un paso 2 mm y un hilo requieren de 5 giros para un avance de un centímetro. Esto ocurre tanto para el eje *X* como para el eje *Y* de manera independiente, el sentido de giro se asigna de acuerdo a la tabla 2.

Tabla 1. Matriz del teclado.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| ( 0,8 ) | ( 1,8 ) | ( 2,8 ) | ( 3,8 ) | ( 4,8 ) |
| ( 0,7 ) | ( 1,7 ) | ( 2,7 ) | ( 3,7 ) | ( 4,7 ) |
| ( 0,6 ) | ( 1,6 ) | ( 2,6 ) | ( 3,6 ) | ( 4,6 ) |
| ( 0,5 ) | ( 1,5 ) | ( 2,5 ) | ( 3,5 ) | ( 4,5 ) |
| ( 0,4 ) | ( 1,4 ) | ( 2,4 ) | ( 3,4 ) | ( 4,4 ) |
| ( 0,3 ) | ( 1,3 ) | ( 2,3 ) | ( 3,3 ) | ( 4,3 ) |
| ( 0,2 ) | ( 1,2 ) | ( 2,2 ) | ( 3,2 ) | ( 4,2 ) |
| ( 0,1 ) | ( 1,1 ) | ( 2, 1 ) | ( 3,1 ) | ( 4,1 ) |
| ( 0,0 ) | ( 1,0 ) | ( 2,0 ) | ( 3,0 ) | ( 4,0 ) |

Tabla 2. Matriz de giros por avanzar.

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Giro a la derecha** | Valor de AUXX | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | Número de giros | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 |
| **Giro a la izquierda** | Valor de AUXX | -4 | -3 | -2 | -1 | |
| | Número de giros | -20 | -15 | -10 | -5 | |
| **Giro hacia arriba** | Valor de AUXY | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | Número de giros | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 |
| | Valor de AUXY | 5 | 6 | 7 | 8 | |
| | Número de giros | 25 | 30 | 35 | 40 | |
| **Giro hacia abajo** | Valor de AUXY | -1 | -2 | -3 | -4 | |
| | Número de giros | -40 | -35 | -30 | -25 | |
| | Valor de AUXY | -5 | -6 | -7 | -8 | |
| | Número de giros | -25 | -30 | -35 | -40 | |

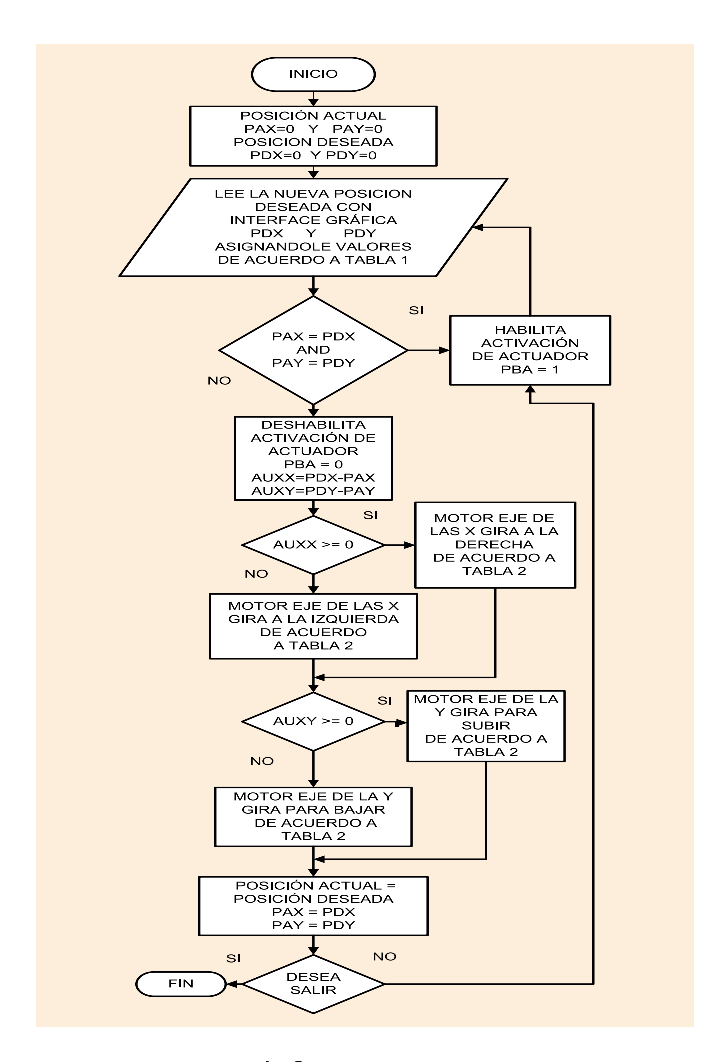



Figura 8. Diagrama de flujo.

## PÁGINAS WEB DEL SERVIDOR LAMP

De las figuras 9 a la 16 se presentan las páginas del sitio que muestra la interfase al usuario durante la solicitud y reservación de tiempo para uso del equipo.




Figura 9. Página de inicio.




Figura 10. Página de reservación 1.




Figura 11. Página de reservación 2.




Figura 12. Página para elegir el laboratorio.

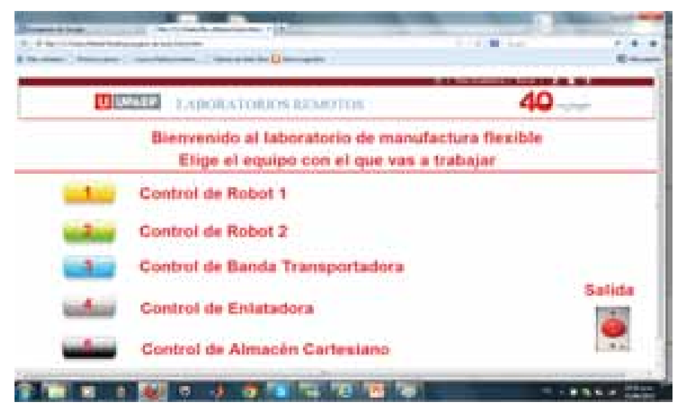



Figura 13. Página para elegir el equipo lab. 1.



Figura 14. Página para elegir el equipo lab. 2.

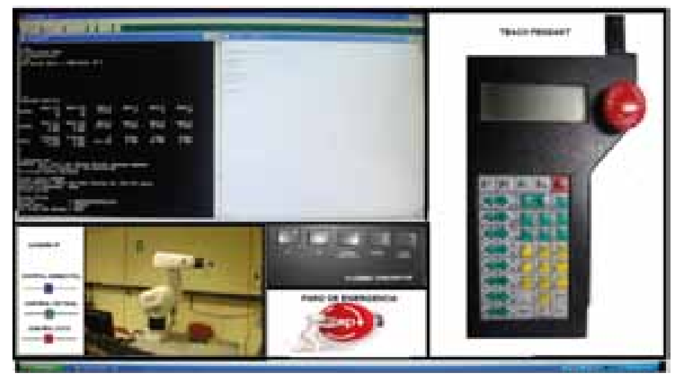

Figura 15. Página para control remoto Robot 1.


Figura 16. Página para control remoto Robot 2.

## CONCLUSIONES

Se presenta una metodología que utiliza software libre mediante un servidor tipo LAMP para la administración del tiempo de uso de los equipos y acceso multiusuario simultáneo a los escritorios remotos, así como un dispositivo para manipular el *Teach pendant* del robot por hardware. Esta tecnología es adaptable a cualquier laboratorio de tipo industrial en otras instituciones educativas. En nuestro caso en particular el laboratorio se encuentra en las instalaciones de UPAEP.

La instalación de un laboratorio remoto beneficia a los alumnos de posgrado tanto de maestría como de doctorado que eligen la modalidad de estudiar a distancia vía videoconferencia en la UPAEP. De esta manera, los estudiantes pueden realizar prácticas de laboratorio sin necesidad de ir a las instalaciones donde se encuentran los equipos. Además de adquirir habilidades y experiencia en el manejo de equipos reales los estudiantes pueden controlarlos de manera remota. Esto redundará en una mejor oportunidad de obtener un trabajo en donde se requieren las habilidades en el uso de dichos equipos en la industria.

De esta forma, las prácticas se realizan con equipos industriales reales y se tiene la oportunidad de operarlos como se encuentran en la industria. Esto es porque la programación y control se realizan de acuerdo con los manuales de operación del fabricante. Así, los estudiantes pueden manipular los interruptores y ver el display del *Teach pendant*, al mismo tiempo que se monitorea el robot en tiempo real y las alarmas.

Esta tecnología se puede aplicar a otras instituciones que cuenten con equipos industriales, como es el caso de la Universidad de Sonora que actualmente diseña un laboratorio remoto para controlar un robot industrial marca FANUC y 5 estaciones de trabajo MPS (Sistema de Producción Modular). La puesta en marcha de este laboratorio se tendrá para el año 2014 y con esto se beneficiará a alumnos de licenciatura del Departamento de Ingeniería Industrial, además de generar redes de colaboración académica entre la Universidad de Sonora y la UPAEP.

## BIBLIOGRAFÍA


1) Lorandi, A.P., Hermida, G., Hernández, J. y Ladrón de Guevara, E. (2011). *Los laboratorios virtuales y laboratorios remotos en la enseñanza en Ingeniería*. Revista Internacional de Educación en Ingeniería, AcademiaJournals.com. Vol. 4, 24-30.
2) Santiago, P. (2012). *Comunidad de Laboratorios compartidos Laboratorios 2.* Instituto de Física UNAM. CUDI 23-25 Mayo 2012, Ensenada, Baja California,
3) Ariza, C.F. y Amaya, D. (2011). *Laboratorio remoto para la enseñanza de la programación de un robot industrial*. Ing. USB Med, Vol. 2, No. 1, 33-39.
4) Caicedo, E., Bacca, E.V., Calvache, B.A., Cardona, J.E. y Buitrago, J.A. (2009). *Laboratorio distribuido con acceso remoto para la enseñanza de la robótica*. Revista Educación en Ingeniería No. 7, 51-61.
5) Macías, M., Méndez, I. y Guridi, E. (2008). *Laboratorios Remotos: Aprendizaje y entrenamiento a distancia*. ITESM campus Monterrey CUDI.
6) Saire, A. y Gómez, H. (2008). *Plataforma de aprendizaje a distancia en automatización industrial empleando laboratorios remotos*. Invest. Apl. Innov. 2(2), 109-116.
7) Ariza, C.F. y Amaya, D. (2008). *Laboratorio remoto aplicado a la educación a distancia*. Ciencia e Ingeniería Neogranadina, Vol. 18-2, 131-145.
8) Calvo, I., Zulueta, E., Gangoiti, U. y López, J., *Laboratorios remotos y virtuales en enseñanzas técnicas y científicas*. Ikastorratza, Revista Electrónica de Didáctica. Tercer número. En: http://www.ehu.es/ikastorratza/3_alea/laboratorios.pdf.
9) García-Zubia, J., Orduña, P., Irurzun, J., Angulo, I. y Hernández, U., *Integración del laboratorio remoto WebLab-Deusto en Moodle*. Facultad de Ingeniería ESIDE, Universidad de Deusto, Tecnológico Fundación Deusto. En: http://www.slideshare.net/etox/integracin-del-laboratorio-remoto-weblabdeusto-en-moodle-1800761.

# SOMATOMETRIA, OBESIDAD Y SOBREPESO EN ESTUDIANTES DE EDUCACIÓN BÁSICA DE LA FRONTERA NORTE DE MÉXICO. UN ANÁLISIS A PARTIR DE LA ENSE 2008

SALVADOR PONCE SERRANO*

*La prevalencia de exceso de peso (sobrepeso más obesidad) en la población de las escuelas primarias y secundarias en México ha ido en aumento y tiene tendencia ascendente. Estas condiciones se asocian a la presencia de enfermedades crónicas degenerativas en el futuro y a dificultades escolares diversas. El exceso de peso es un problema de salud pública sobre todo en los estados de la frontera norte, con peculiaridades, según entidad federativa, por lo que un análisis diferenciado permite identificar mejor la situación a nivel de cada una y de esta manera mejorarán las intervenciones y programas preventivos.*

M.C. Salvador Ponce Serrano
Departamento de Medicina, Universidad de Sonora
Correo: salponse@gmail.com

*Autor para correspondencia: Salvador Ponce Serrano
Correo electrónico: salponse@gmail.com
Recibido: 19 de Septiembre de 2013
Aceptado: 19 de Noviembre de 2013
ISSN: 2007-4530



## INTRODUCCIÓN

La salud de los grupos humanos es mejor cuando su nutrición y condición biológica las mantiene en un peso adecuado a su talla, edad y sexo. En las poblaciones se han medido esas condiciones y se identifica que cuando rebasan los indicadores normales y ocurre exceso de peso, aparecen enfermedades asociadas que llevan a la muerte prematura, a la discapacidad y a daños que generan costos y sufrimiento. El sobrepeso y la obesidad que se observaba en adultos, ahora se están presentando en niños, por lo que su monitoreo permitirá informar sobre su evolución y la de los fenómenos que coadyuvan a su ocurrencia.

En México se enfrenta este problema que ahora se manifiesta desde la infancia y las encuestas nacionales lo han identificado. Por ejemplo, la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2006 identificó que en México, el sobrepeso y la obesidad, tenían una frecuencia en niños de 5 a 11 años de 26%. En adolescentes, los datos de la ENSANUT 2006 permitieron observar que 1 de cada 3 tienen obesidad y/o sobrepeso (5). En la Encuesta Nacional de Salud 2012, la prevalencia nacional de sobrepeso y obesidad en el grupo de edad de 5 a 11 años fue en hombres y mujeres de 37% y 32% respectivamente, lo que confirma la tendencia al aumento de esta condición en el país (2).



El sobrepeso y la obesidad en edades tempranas son factor de riesgo para varias enfermedades crónico degenerativas en la edad adulta, como la diabetes mellitus, hipertensión arterial y otras, de ahí la importancia de prevenir, detectar y tratar oportunamente el exceso de peso (4).

Los estados de la frontera norte de México han tenido un aumento importante de sobrepeso y obesidad, al parecer mayor que los otros estados del país, por lo que es necesario monitorear esta situación. Con el objetivo de caracterizar las condiciones somatométricas y las prevalencias de sobrepeso y obesidad en los estados de la Frontera Norte (FN) de México comparándolos con los mismos indicadores del país, se realiza este análisis.

## MATERIAL Y MÉTODO

En el año 2008, se realizó la Encuesta Nacional de Salud en Escolares (ENSE, 2008). México contaba en esas fechas con el 95% de niños de 5 y 15 años de edad, en las escuelas de primaria y secundaria, lo que facilitaba la logística, así que para identificar los principales problemas de salud, entre ellos la obesidad y sobrepeso, se llevó a cabo la ENSA2008 (8). La metodología de esa encuesta está ampliamente descrita en el documento publicado en el año 2010 la cual puede consultarse a detalle. En la publicación se describe el cálculo del tamaño de muestra, el diseño y técnicas de muestreo, métodos de reclutamiento, técnicas de recolección de datos, que incluyó consentimiento informado, formularios sistematizados estandarizados (cuestionario del hogar y un cuestionario individual), ambiente escolar y mediciones antropométricas, toma y proceso de muestras biológicas, asimismo procedimientos, mediciones, capacitación del personal y confidencialidad. Se obtuvo el indicador "exceso de peso", que se compone de la suma del sobrepeso y de obesidad.

De la ENSE2008 se tomaron los datos de peso, talla, índice de masa corporal (IMC), sobrepeso, obesidad y exceso de peso (sobrepeso más obesidad) de los niños de primaria y secundaria de los estados de la FN de México, Baja California, Coahuila, Chihuahua, Nuevo León, Sonora y Tamaulipas, número y promedio de la FN y del país. Se vaciaron en hoja de cálculo, para obtener cuadros y gráficas de las condiciones mencionadas. El ordenamiento de datos se hizo para poder hacer comparaciones con los indicadores entre los estados, los de la FN y los nacionales. En la ENSE se calculó el índice de masa corporal (IMC=peso en kg/talla en m$^2$) para clasificar a los estudiantes con sobrepeso y obesidad, considerando la distribución y los puntos de corte propuestos por la International Obesity Task Force (IOTF).

## RESULTADOS

Los datos analizados se refieren a 6,650 niños de primaria (6 a 12 años) y 2,781 jóvenes de secundaria (13 a 15 años), un total de 9,431 alumnos de los estados de la FN. Los datos nacionales se refieren a 34,037 niños de primaria y 25,428 de secundaria, siendo en total 59,465 estudiantes.

### Resultados en primaria

El promedio de peso, talla e IMC de los escolares del sexo masculino en las escuelas primarias de la FN fue mayor que el de los escolares de primaria del país; 2.4 kg más y 2.4 cm más. El estado de Nuevo León registró los mayores promedios de la FN, en peso (5.2 kg más), estatura, (5.6 cm más) y de IMC (0.7 unidades más) mayores que el promedio fronterizo y que el promedio nacional. Chihuahua tuvo las cifras menores de la FN, algo menores también que la media de los niños del país. El promedio de peso, talla e IMC de las estudiantes mujeres de primaria en la FN

también fue mayor que el nacional, con una diferencia de 1.8 kg más y más altas por 1.6 cm. Por estados, Nuevo León registró un mayor promedio de peso, 3.4 kg más, y de talla 4.1 cm más, que las niñas del promedio nacional. Las estudiantes de Baja California registraron el mayor IMC de la FN. Chihuahua tuvo las cifras de estatura menores que la media de las niñas en México y de la FN y Tamaulipas tuvo el menor IMC de los estados fronterizos. En general los escolares de ambos sexos de las escuelas primarias de la Frontera Norte, tuvieron más peso, más estatura y mayor IMC que los escolares promedio en México; los de Nuevo León tienen más peso, talla y los de Baja California mayor IMC que las del ámbito nacional y de la FN (Tabla 1).

Al comparar los promedios somatométricos por sexo en primarias de estudiantes de la FN, los hombres pesaron un poco más (36.4 kg vs 35.6 kg), más estatura (135.3 vs 134.8), y mayor IMC (19.4 vs 19.1), que las niñas en la FN, comportamiento parecido al observado en el ámbito nacional. Por estados, sólo en Chihuahua se observó que las niñas tuvieron más peso y talla que los hombres.

## Resultados en estudiantes de secundaria

El promedio de peso de los escolares masculinos de las escuelas secundarias fue mayor en los estudiantes de la FN que el de los de la muestra nacional, con 2.1 kg más en los primeros; el de estatura presentó situación similar, fueron más altos en la FN por 1.1 cm más y el IMC fue mayor en los escolares en la FN en relación con las medias nacionales. Por estados se observa que los estudiantes de Baja California registraron el promedio de peso, 4.2 kg más que los niños del promedio nacional. Los de Nuevo León promediaron 2.3 cm más que los niños del promedio nacional. Chihuahua tuvo el menor promedio de peso y talla pero similares al promedio nacional. En mujeres de secundaria, el peso promedio de las estudiantes investigadas en la FN fue mayor que el promedio nacional, con una diferencia de 1.9 kg a favor de las jovencitas del norte. La estatura de las estudiantes de la FN fue mayor en relación con las del resto del país con 1.2 cm más en la FN y el IMC fue mayor en estudiantes mujeres de la FN, que las del ámbito nacional con una diferencia de 0.4 unidades más. Entre los estados de la FN, Sonora registró el mayor promedio de peso y talla en sus estudiantes de este grupo escolar y Baja California el de mayores cifras de IMC. Nuevo León tuvo las cifras menores de peso e IMC, y Tamaulipas la de menor estatura, pero mayor a la media nacional. Al comparar por sexo a estudiantes de secundaria en la FN, los hombres pesaron poco más que las mujeres (57.8 vs 54.7 kg), tuvieron mayor estatura (160.8 vs 155.6 cm) y menor IMC (22.2 vs 22.5), comportamiento parecido al observado en el ámbito nacional.

## Ganancias somatométricas

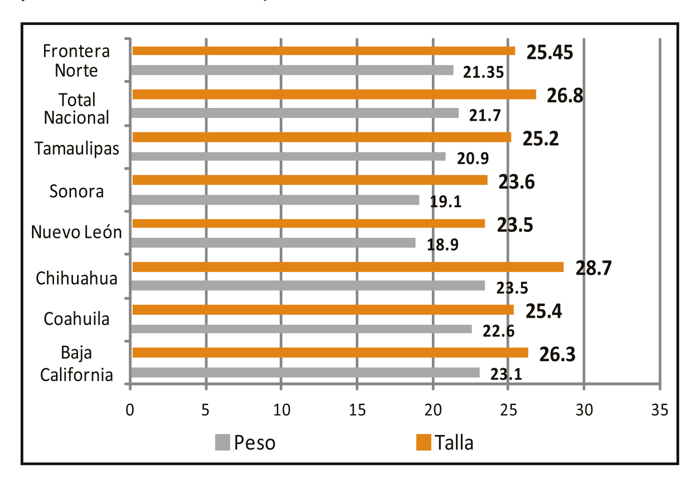
Al restar los promedios de peso, talla e IMC de los niños de secundaria con los de primaria, la diferencia obtenida puede considerarse como una ganancia en crecimiento y peso que ocurre en el tránsito de primaria a secundaria. Por ejemplo, el peso promedio de los niños en primaria de la FN fue de 36.4 kg y en secundaria de 57.8 kg, la ganancia es de 21.4 kg. Al realizar este procedimiento con peso, talla e IMC y compararlos se observó que las ganancias son mayores en los promedios de la población estudiada del ámbito nacional. No obstante, tanto en primaria como en secundaria los niños fronterizos tienen mayores promedios que los de los escolares del país. Esto puede tener algunas interpretaciones que se comentarán en la discusión.

Los escolares masculinos del ámbito nacional comparados con los de la FN ganaron más peso (21.7 vs 21.3 kg), talla (26.8 vs 25.4 cm) y mayor IMC (3 unidades vs 2.82 respectivamente) pero no les alcanza para igualar los



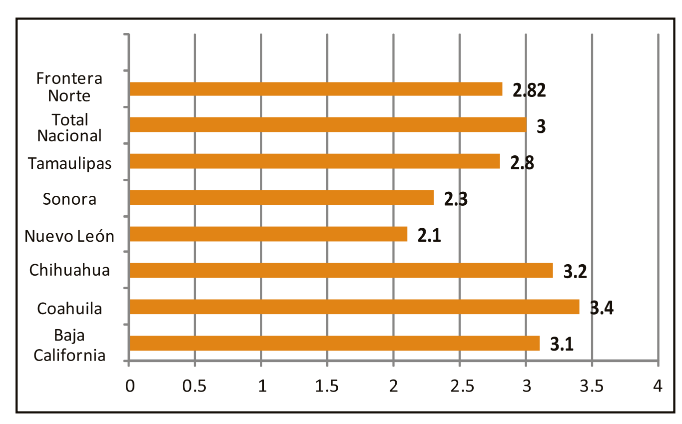
valores de los escolares de la FN. Por estados, en peso y talla, Chihuahua tuvo la mayor ganancia y Nuevo León la menor. Con respecto al IMC, Coahuila tuvo la mayor ganancia y la menor Nuevo León. Con las alumnas de la FN comparando los promedios con los del ámbito nacional, la ganancia es casi la misma en peso, 19 kg y 18.9 kg respectivamente. Es mayor en talla en las estudiantes del ámbito nacional, 21.2 cm contra 20.77 cm en la FN. En IMC es poco mayor la ganancia en el ámbito nacional (3.5 unidades) que en la FN (3.42); pero como ocurre en el sexo masculino, tampoco alcanza para igualar los valores de las escolares de la FN con las nacionales, que quedan rezagadas. Por estados de la FN la mayor ganancia de peso y talla correspondió a Tamaulipas (20.5 kg y 22.2 cm) y la menor a Nuevo León (15.7 kg y 18.3 cm). Con respecto al IMC, Sonora observó la mayor ganancia (3.8 unidades) y la menor en Nuevo León (2.5) (Figuras 1, 2, 3 y 4).

Figura 1. Ganancia promedio de peso y talla, población masculina de educación primaria a secundaria, por estados y Frontera Norte comparada con las nacionales.



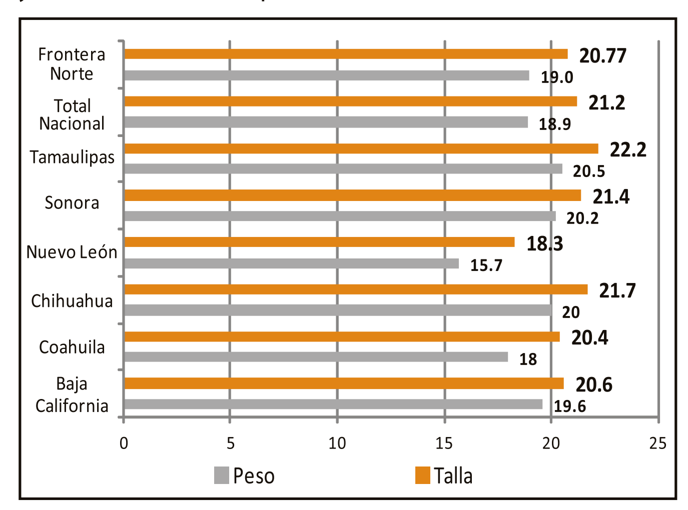

Fuente: ENSE (2008).

Figura 2. Ganancia en IMC de la población masculina de educación primaria y secundaria, por estados y Frontera Norte comparada con las nacionales.



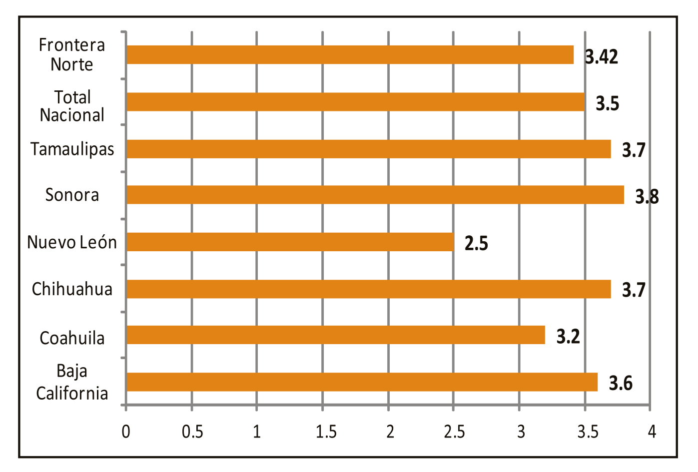

Fuente: ENSE (2008).

Figura 3. Ganancia promedio de peso y talla, población femenina de educación primaria a secundaria por estados y Frontera Norte comparada con los nacionales.




Fuente: ENSE (2008).

Figura 4. Ganancia en IMC de la población femenina de educación primaria a secundaria, por estados y Frontera Norte comparada con las nacionales.




Fuente: ENSE (2008).

## Prevalencias en educación primaria Combinada ambos sexos

Las prevalencias por cada cien escolares de ambos sexos estudiados de la FN fueron de 21.8% en sobrepeso, 13.5% en obesidad y 35.3% en exceso de peso. Todas mayores que las encontradas en el ámbito nacional, que fueron para sobrepeso 20.4%, para obesidad 9.9% y para exceso de peso 30.3%. Al dividir por ejemplo la prevalencia de sobrepeso de la FN, entre la del ámbito nacional (21.8/20.4) el resultado da 1.07, éste se interpreta en este documento como un 7% de mayor prevalencia en la FN. De esta misma forma se mencionan que hay 36% más en obesidad y 16% mayor prevalencia en la FN, en relación con las prevalencias del nivel nacional.

### Sexo masculino

Las prevalencias en la FN encontradas y comparadas con las de México fueron mayores, en sobrepeso 9%, en obesidad 39% y 20% más. Por estado, las prevalencias son las más altas en Tamaulipas para sobrepeso y en Nuevo León para obesidad y exceso de peso. Las menores prevalencias se observaron en Chihuahua pero en general las cifras son mayores a los promedios nacionales.

### Sexo femenino

Comparando las prevalencias de la FN con las del ámbito nacional, fueron mayores en sobrepeso, obesidad y exceso de peso (5%, 33% y 13%) respectivamente. Por estados de la FN en sobrepeso, obesidad y exceso de peso la mayor prevalencia se observó en Baja California. Las menores prevalencias estuvieron en Chihuahua y Coahuila.

Al comparar por sexo a los escolares de primaria de la FN, la prevalencia de sobrepeso es casi igual entre mujeres y hombres, pero en obesidad, los hombres tienen 26% más y8% más que ellas en exceso de peso. Baja California es el estado con cifras más altas de obesidad en escolares de primaria(Tabla 2).

### Prevalencia en escuelas secundarias Combinada ambos sexos

En secundaria la prevalencia de sobrepeso en ambos sexos en la FN fue casi igual al compararse con las del ámbito nacional (22.17 vs 22.75), pero la de obesidad fue mayor un 48% (21.3 vs 14.25) y 12% mayor la de exceso de peso (35.6 vs 31.8 respectivamente) en la FN.

### Sexo masculino

La prevalencia comparando los jóvenes de la FN con los del ámbito nacional fueron casi iguales en sobrepeso pero en obesidad fue mayor en 43% y el exceso de peso un 13% mayor en relación con los estudiantes del ámbito nacional. Coahuila fue el estado con más sobrepeso, Baja California y Nuevo León tuvieron cifras de mayor obesidad. Baja California con Coahuila tuvieron más exceso de peso entre las entidades de la frontera norte, en cambio Sonora tuvo menor prevalencia de exceso de peso, pero superior a la cifra nacional.

### Sexo femenino

Las prevalencias comparadas con el ámbito nacional fueron menores en la FN en sobrepeso pero mayores en obesidad y en exceso de peso. Estas últimas dos prevalencias son mayores un 60% en obesidad y un 11% en exceso de peso, que las del ámbito nacional. En obesidad la prevalencia mayor se encontró en Tamaulipas y la menor en Coahuila. En exceso de peso los datos más altos estuvieron en Baja California y las menores prevalencias estuvieron en Chihuahua y Coahuila. En general, en primaria y secundaria, las prevalencias de obesidad y exceso de peso son mayores en la FN que las de los escolares de otros lugares del país.

Al comparar por sexo a los escolares de secundaria en la FN, se observa casi igual prevalencia de sobrepeso, pero en obesidad, los hombres tienen un 25% más y en exceso de peso, 9% más. El mismo fenómeno de mayor prevalencia de obesidad y exceso de peso en hombres se observa en el ámbito nacional. Baja California, es el estado de la zona que tiene cifras más altas de exceso de peso en escolares femeninos de secundaria.

### Cambios en prevalencia

Al comparar las diferencias que puede haber en el paso de primaria a secundaria, en general las modificaciones son mínimas al comparar las prevalencias entre la primaria y secundaria en ambos sexos.

Tabla 1. Promedios de peso, talla e IMC para población de educación básica, nacional y por entidad federativa de la Frontera Norte de México.

| Primaria | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Hombres | | | Mujeres | | |
| Entidad | Peso | Talla | IMC | Peso | Talla | MC |
| Baja California | 36.8 | 135 | 19.8 | 36.9 | 134.6 | 19.8 |
| Coahuila | 35.6 | 135 | 18.9 | 35.1 | 135.5 | 18.6 |
| Chihuahua | 33.6 | 133 | 18.6 | 33.8 | 133.9 | 18.4 |
| Nuevo León | 39.2 | 139 | 19.9 | 37.3 | 137.3 | 19.3 |
| Sonora | 37.6 | 136 | 19.7 | 36.4 | 135 | 19.3 |
| Tamaulipas | 35.8 | 134 | 19.4 | 34.4 | 132.7 | 19 |
| Total Nacional | 34 | 133 | 18.7 | 33.9 | 133.2 | 18.6 |
| Frontera Norte | 36.4 | 135 | 19.38 | 35.65 | 134.8 | 19.1 |

| Secundaria | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Hombres | | | Mujeres | | |
| Entidad | Peso | Talla | IMC | Peso | Talla | MC |
| Baja California | 59.9 | 161 | 22.9 | 56.5 | 155.2 | 23.4 |
| Coahuila | 58.2 | 161 | 22.3 | 53.1 | 155.9 | 21.8 |
| Chihuahua | 57.1 | 161 | 21.8 | 53.8 | 155.6 | 22.1 |
| Nuevo León | 58.1 | 162 | 22 | 53 | 155.6 | 21.8 |
| Sonora | 56.7 | 160 | 22 | 56.6 | 156.4 | 23.1 |
| Tamaulipas | 56.7 | 159 | 22.2 | 54.9 | 154.9 | 22.7 |
| Total Nacional | 55.7 | 160 | 21.7 | 52.8 | 154.4 | 22.1 |
| Frontera Norte | 57.8 | 161 | 22.2 | 54.65 | 155.6 | 22.5 |

Fuente: ENSE (2008).



Tabla 2. Prevalencias de sobrepeso, obesidad y exceso de peso en población de educación básica, nacional y por entidad federativa de la Frontera Norte de México.

| Primaria | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Hombres | | | Mujeres | | |
| Entidad | Sobrepeso | Obesidad | Exceso/ Peso | Sobrepeso | Obesidad | Exceso/ Peso |
| Baja California | 19.5 | 17.3 | 36.8 | 23.6 | 16.5 | 40 |
| Coahuila | 21 | 11.5 | 32.5 | 21.5 | 7.2 | 28.7 |
| Chihuahua | 20.2 | 10.5 | 30.7 | 20.3 | 7.6 | 27.8 |
| Nuevo León | 23.4 | 17.8 | 41.2 | 22.9 | 13.3 | 36.2 |
| Sonora | 20.9 | 17.3 | 38.1 | 21.9 | 12.9 | 34.8 |
| Tamaulipas | 24.4 | 15.8 | 40.2 | 21.9 | 14.2 | 36 |
| Total Nacional | 19.8 | 10.8 | 30.6 | 21 | 9 | 30 |
| Frontera Norte | 21.6 | 15 | 36.58 | 22.02 | 11.95 | 33.9 |

| Secundaria | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Hombres | | | Mujeres | | |
| Entidad | Sobrepeso | Obesidad | Exceso/ Peso | Sobrepeso | Obesidad | Exceso/ Peso |
| Baja California | 25.6 | 16.3 | 42 | 32.1 | 12.5 | 44.6 |
| Coahuila | 27.8 | 13.6 | 41.4 | 19.7 | 7.9 | 27.6 |
| Chihuahua | 21.1 | 14.6 | 35.6 | 18.4 | 12.1 | 30.5 |
| Nuevo León | 20 | 16.3 | 36.3 | 18.7 | 10.7 | 29.3 |
| Sonora | 17.7 | 15.2 | 32.9 | 22.7 | 13.6 | 36.3 |
| Tamaulipas | 20.9 | 14.1 | 35 | 21.3 | 15.3 | 36.3 |
| Total Nacional | 22.3 | 10.5 | 32.8 | 23.2 | 7.5 | 30.8 |
| Frontera Norte | 22.2 | 15 | 37.2 | 22.15 | 12.017 | 34.2 |

Fuente: ENSE (2008).

## DISCUSIÓN

El exceso de peso, obesidad y sobrepeso es una condición de la salud poblacional, problemática y más si viene desde la infancia. La literatura muestra que se asocia a diversas y graves enfermedades. Las complicaciones pueden ser inmediatas, intermedias y tardías de acuerdo al lapso que transcurre entre el inicio del sobrepeso y la aparición de las manifestaciones asociadas, que elevan la morbilidad y explican la mortalidad prematura en la vida adulta. Un primer paso importante para el control de este problema es su monitoreo. En México, la información acerca del estado de nutrición de la población viene desde la Encuesta Nacional de Nutrición 1999 (ENN, 1999), que informó una prevalencia de exceso de peso en niños escolares de 19.5%. En el 2006, la ENSANUT identificó que la prevalencia nacional en niños de 5 a 11 años fue de 26%, para ambos sexos y ahora en este estudio la prevalencia en niños de primaria es de 35.3 y de secundaria es de 35.67.

En primaria los niños de ambos sexos de la FN muestran promedios más altos de peso, talla e IMC que los del ámbito nacional. En secundaria tanto los promedios de niños de la FN y los del ámbito nacional también aumentan pero la ganancia en somatometria es mayor en la población nacional. Esto permite hipotetizar que es en primaria cuando los menores de la FN adquieren el mayor peso, talla e IMC, no así los

niños del ámbito nacional y plausiblemente en secundaria ocurre una recuperación en estos últimos, con mejoría y aumento de peso/talla en los niños del país, para compensar un retraso nutricional, pero hay que caracterizar bien este fenómeno. Aun así los promedios somatométricos de los escolares de secundaria del ámbito nacional quedan rezagados y los jóvenes de la FN son más altos, pesan más y tienen mayor IMC. La población escolar de Nuevo León parece ejemplificar lo anterior, los jóvenes de ambos sexos de primaria y secundaria tiene los mayores indicadores de peso talla e IMC del conjunto estudiado, pero tienen las menores ganancias en kilogramos, centímetros y IMC en secundaria y aún así sus promedios somatométricos son los más altos de la FN y del país.

En este análisis se encuentra que la población masculina se ve más afectada por el exceso de peso y sobre todo por el componente obesidad. Tanto en primaria como en secundaria, sus valores de prevalencia son mayores que el de las mujeres y en ellos no hay ganancia de prevalencia al pasar de la primaria a la secundaria lo que apoya la presunción que el sobrepeso y la obesidad se traen desde primaria. Tal vez se adquieren en los primeros años de escolaridad coincidiendo con el fenómeno llamado “rebote de adiposidad”. Si esto es así, ésta es una etapa donde pueden diseñarse o enfatizarse intervenciones preventivas que serian más efectivas para el control de sobrepeso y obesidad escolar. En cambio en las mujeres, la prevalencia de obesidad incluso baja o se mantiene en la secundaria, pero tienen mayor ganancia en IMC, y este fenómeno puede ser por la maduración de esa edad y por consiguiente si esto se caracteriza, puede ser también una etapa donde las intervenciones preventivas pueden ser más provechosas.

Los datos aquí vertidos confirman la mayor prevalencia del exceso de peso en los escolares de los estados de la FN comparados con los nacionales. Se confirma la magnitud del problema con la situación que los promedios de peso, talla e IMC son mayores tanto en primaria como en secundaria en la escolares de la FN y también porque que se encuentran cerca del percentil 85 para IMC de la OMS, cuando lo esperado es que estuvieran más bien cerca del percentil 50.

En conclusión los datos muestran que en la FN el problema de exceso de peso en especial de la obesidad es mayor y que afecta más a los hombres. La información sugiere el establecimiento de algunas hipótesis, tales como que el exceso de peso parece ser adquirido en los primeros años de la primaria, pudiera ser en la etapa de rebote de adiposidad; que los jóvenes del ámbito nacional suben más de peso y talla en la secundaria que los jóvenes de la FN, más bien como un mecanismo de recuperación, que es insuficiente para alcanzar mejores promedios somatométricos, y finalmente, que en las mujeres al final de la secundaria ocurren cambios de maduración, vulnerables al aumento excesivo de peso. Estas hipótesis deben descartarse o confirmarse con investigaciones subsiguientes ya que pueden permitir su aprovechamiento para programas preventivos y de control.

## BIBLIOGRAFÍA


1) Calzada-León, R. (2003). *Obesidad en niños y adolescentes. México: Academia Americana de Pediatría*. Editores de Textos Mexicanos.
2) Gutiérrez, J.P., Rivera-Dommarco, J., Shamah-Levy, T., Villalpando-Hernández, S., Franco, A., Cuevas-Nasu, L., Romero-Martínez, M., Hernández-Ávila, M. (2012). *Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2012. Resultados Nacionales*. Cuernavaca, México: Instituto Nacional de Salud Pública (MX).
3) Manios, Y., Kourlaba, G., Kafatos, A., Cook, T., Spyridaki, A., Fragiadakis, G.A. (2008).*Associations of several anthropometric indexes with insulin resistance in children: The children study*. Acta Paediatr. 97: 494-9.
4) Kaufer-Horwitz,M., Toussaint, G. (2008). *Indicadores antropométricos para evaluar sobrepeso y obesidad en pediatría* Bol. Med. Hosp. Infant. Mex. vol.65 no.6 México. Nov/Dic.
5) Olaiz-Fernández, G., Rivera-Dommarco, J., Shamah-Levy, T., Rojas, R., Villalpando-Hernández, S., Hernández-Ávila, M. (2006). *Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2006*. Cuernavaca, México. Instituto Nacional de Salud Pública.
6) Organización Mundial de la Salud (2013). *Calculadora de IMC y de puntaje*. En: http://www.who.int/childgrowth/software/en/
7) Ram, W., James, D., Burgert, T., Tamborlane, W. (2004). *Obesity and the Metabolic Syndrome in Children and Adolescents*.N. Engl. J. Med.2004; 350:2362-2374, June 3.
8) Shamah Levy, T. (2010). *Encuesta Nacional de Salud en Escolares 2008*. Cuernavaca (México). Instituto Nacional de Salud Pública (MX).
9) World Health Organization (2006). *WHO Child Growth Standards: Length/height-for-age, weight-for-age, weight-for-length, weight-for-height and body mass in-dex-for-age*. Methods and development. Ginebra.
10) *2000 CDC Growth Charts: United States*.En:http://www.cdc.gov/GROWTHCHARTS/




# LA RESPONSABILIDAD SOCIAL Y SU RELACIÓN CON EL COMPROMISO ORGANIZACIONAL, EN LA UNIVERSIDAD DE SONORA, UNIDAD REGIONAL CENTRO

JOSÉ LOZANO TAYLOR*, GILBERTO ORTÍZ SUÁREZ, JOSÉ PABLO NUÑO DE LA PARRA, HERIBERTO GRIJALVA MONTEVERDE, JAVIER ESQUER PERALTA

*En esta investigación se desea determinar si existe relación entre la responsabilidad social universitaria y el compromiso organizacional de su personal, utilizando como caso la Universidad de Sonora, Unidad Regional Centro. Para lograrlo se utilizó la técnica multivariada de análisis de correlación canónica con 56 variables independientes de responsabilidad social universitaria y 9 variables dependientes de compromiso organizacional.*

Dr. Gilberto Ortiz Suárez
Departamento de Ingeniería Industrial,
Universidad de Sonora
Correo: gortiz@industrial.uson.mx

Dr. José Pablo Nuño de la Parra
Universidad Popular Autónoma de Puebla
Correo: pablo.nuno@upaep.mx

Dr. José Lozano Taylor
Departamento de Ingeniería Industrial,
Universidad de Sonora
Correo: jlozano@industrial.uson.mx

Dr. Heriberto Grijalva Monteverde
Universidad de Sonora
Correo: hgrijalv@guaymas.uson.mx

Dr. Javier Esquer Peralta
Departamento de Ingeniería Industrial,
Universidad de Sonora
Correo: jesquer@industrial.uson.mx

*Autor para correspondencia: José Lozano Taylor
Correo electrónico: jlozano@industrial.uson.mx

Recibido: 12 de Marzo de 2013
Aceptado: 26 de Octubre de 2013
ISSN: 2007-4530





## INTRODUCCIÓN

Desde mediados del siglo XX se inició el debate sobre la Responsabilidad Social Empresarial (RSE), con la primera definición formal desarrollada por Bowen (1) quien indica que es obligación del hombre de negocios "buscar aquellas políticas, tomar aquellas decisiones, o seguir aquellas líneas de acción que son deseables en términos de los objetivos y valores de nuestra sociedad". Carroll, uno de los académicos más prestigiados en esta disciplina, define la RSE como "aquella que abarca las expectativas económica, legal, ética y discrecional que la sociedad tiene de las empresas en cierto momento" (2). Esto es, sugiere que el constructo RSE está constituido por cuatro dimensiones: económica, legal, ética y discrecional.

Se han propuesto y discutido otras definiciones de la RSE, pero se puede argumentar que la definición de Carroll incluye probablemente el mínimo común denominador de la RSE. Sin embargo, aún existe incertidumbre en el mundo académico y empresarial sobre su significado (3), provocada por la abundancia de definiciones las cuales son, de acuerdo a Van Marrewijk frecuentemente sesgadas hacia intereses particulares (4). Esto provoca dificultades tanto en su desarrollo teórico como en su medición.

La falta de acuerdo respecto al significado de la RSE, así como las teorías y enfoques desarrollados, se presenta en forma similar en las Instituciones de Educación Superior (IES). En las IES el interés y la reflexión sobre la RSE no ha sido ajeno, dado que también son organizaciones y que están dedicadas a formar los futuros profesionales que trabajarán en las empresas, instituciones y centros de investigación, que tendrán que promover en ellas una visión ética y responsable del ambiente, de la transparencia, del bien común y de la justicia social. La universidad forma a la gran mayoría de profesionales que integran las empresas, administración pública y organismos internacionales, la formación que adquieren a nivel conceptual y metodológico será la que posteriormente desarrollarán en su vida laboral por ello podemos hablar de "Responsabilidad Social Universitaria" (RSU) (5). La concreción de la responsabilidad social de las universidades en el siglo XXI va a depender, por un lado, de cómo se defina su misión y, por otro, de los problemas que enfrente la sociedad en la cual ellas operan.

Vallaeys (6), da una definición sobre RSU: "La Responsabilidad Social Universitaria es una política de calidad ética del desempeño de la comunidad universitaria (estudiantes, académicos y personal administrativo) a través de la gestión responsable de los impactos educativos, cognitivos, laborales, sociales y ambientales que la Universidad genera, en un diálogo participativo con la sociedad para promover el Desarrollo Humano Sostenible".

Se concibe el compromiso organizacional como el apego psicológico que siente la persona por la organización; reflejará el grado en que el individuo interioriza o adopta características o perspectivas de la organización. Porter y sus colegas desarrollaron el Cuestionario de Compromiso Organizacional (OCQ) de 15 enunciados, para medir el constructo compromiso (7). Posteriormente desarrollaron una versión del OCQ de 9 preguntas.

Se distinguen tres formas de compromiso organizacional: a) compromiso afectivo, donde el individuo fuertemente comprometido se identifica con, está involucrado en y disfruta ser miembro de la organización; b) compromiso de continuación, que expresa el costo percibido asociado con el abandono de la organización; c) el compromiso normativo, que refleja una obligación percibida de permanecer en la organización (8). Común a estos enfoques es la relación que hay entre el empleado y la organización que disminuye la probabilidad de la rotación





de personal. Los empleados con un fuerte compromiso afectivo permanecen porque quieren; los que tienen fuerte compromiso de continuación, porque lo necesitan; y los que tienen un fuerte compromiso normativo, porque sienten que deben hacerlo.

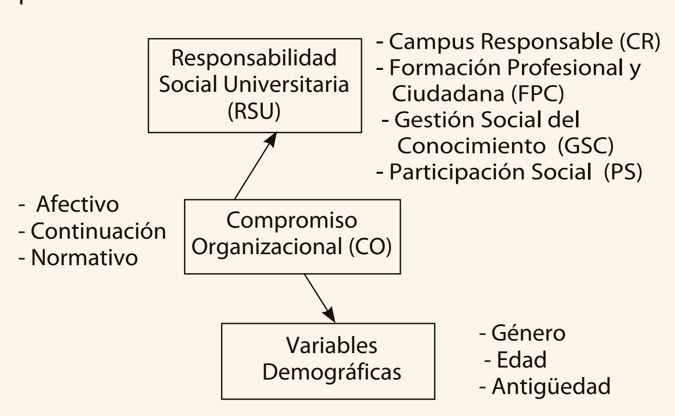
El manejo de iniciativas y políticas de RSE puede impactar en el contexto organizacional, dar forma a las percepciones de los empleados y, por lo tanto, afectar el compromiso organizacional de los empleados (9).

## METODOLOGÍA

Para realizar el estudio, se procedió de acuerdo a las siguientes actividades:

1. Se definió el modelo de compromiso organizacional (CO) y responsabilidad social universitaria (RSU), modelo que permitirá establecer las dimensiones y variables de la investigación. El modelo se identificará como: Modelo CO-RSU (Figura 1).

2. Se determinó el tamaño de la muestra para un muestreo probabilístico simple con el propósito de estimar los parámetros de las variables de CO y RSU. Asimismo, con la finalidad de determinar el tamaño de la muestra, se estableció una confiabilidad de 95% y un error máximo de estimación de 5%. Resultando una muestra de 354 personas.




3. Se diseñaron los instrumentos para medir las dimensiones y variables del compromiso organizacional y la responsabilidad social universitaria, resultando en un cuestionario para el CO y cuatro cuestionarios de RSU. Con los cuestionarios de la RSU se midió la dimensión y las variables correspondientes a: Campus Responsable, Formación Profesional y Ciudadana, Gestión Social del Conocimiento y Participación Social. En todos los cuestionarios se utilizó la escala de Likert de cinco puntos que va desde "completamente en desacuerdo" (1) hasta "completamente de acuerdo" (5). Además, se incluyeron preguntas para medir variables demográficas de género, edad y antigüedad en la UNISON.

4. Se obtuvo la lista de correos electrónicos del personal académico, de administrativos y servicios, y directivos que la UNISON tiene disponible. Se amplió dicho listado con solicitud directa a las personas que no están en el listado de correos electrónicos que tiene la UNISON. Se envió el cuestionario de CO a todo el recurso humano de la UNISON con la dirección de correo disponible. En la misma encuesta, se envió el cuestionario de campus responsable y participación social a todo el personal dentro de la población de esta investigación y sólo al personal académico (docente e investigador) se le enviaron los cuestionarios de formación profesional y ciudadana, y gestión social del conocimiento, dado que sólo a este personal van dirigidos dichos cuestionarios. Toda la gestión de la encuesta se realizó con apoyo del software LimeSurvey.

5. Durante 45 días se recibieron los cuestionarios ya contestados con la restricción de cumplir con el tamaño de muestra definido estadísticamente. Se exportó la información de todos los cuestionarios de LimeSurvey a Excel y posteriormente de Excel a SPSS versión 20. Con el propósito de detectar y corregir errores, se revisaron y se obtuvo la información necesaria para hacer el análisis estadístico de los datos. Se obtuvieron 390 cuestionarios del personal administrativo, de servicios y directivo y 590 cuestionarios del personal académico.

6. Se aplicó la prueba Alfa de Conbrach para validar los cuestionarios. Los resultados se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Confiabilidad de los instrumentos de medición.

| Instrumento de Medición | Alfa de Cronbach | Número de enunciados |
|---|---|---|
| Campus Responsable (CR) | 0.927 | 14 |
| Formación Profesional y Ciudadana (FPC) | 0.955 | 13 |
| Gestión Social del Conocimiento (GSC) | 0.864 | 18 |
| Participación Social (PS) | 0.934 | 11 |
| Compromiso Organizacional (CO) | 0.883 | 09 |
| Todos los instrumentos (5) | 0.974 | 65 |

Fuente: Elaboración propia.

Se estimaron y analizaron los parámetros estadísticos y se relacionaron las variables de CO y RSU con la técnica de análisis de correlación canónica. Para facilitar y hacer posible el análisis de los datos con correlación canónica se inició aplicando la técnica con los promedios de CO, dimensiones de RSU y variables demográficas, gradualmente se agregaron dimensiones y variables hasta realizar la correlación canónica con todas las variables de CO, RSU y demográficas. Con la relación de variables que arrojó el análisis se logró definir y proponer estrategias de RSU para la UNISON.

## RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

De los resultados de la aplicación de los instrumentos de medición y los análisis estadísticos realizados, se presenta un resumen de los aspectos más importantes.

Los promedios, la moda y el tamaño de la muestra para cada enunciado de los cinco cuestionarios se presentan de la tabla 2 a la tabla 6. Se puede considerar estos promedios como las calificaciones finales otorgadas por todo el recurso humano de la UNISON en cada uno de los ítems relacionados con la RSU y el CO. En la tabla 7 se presentan los promedios de cada una de las dimensiones de la RSU y el promedio final de la RSU, que puede considerarse como la calificación final que otorgó el recurso humano a la UNISON. En la tabla 8 se presentan los promedios de cada una de las dimensiones del CO y del propio compromiso organizacional. Con el fin de determinar estrategias relacionadas con los ítems de las cuatro dimensiones de RSU que mejoren el compromiso organizacional, se consideró que un ítem con promedio menor o igual a 3.5 tiene calificación baja y para identificarlo se marcó con negrita e itálica. Si el ítem tiene un promedio menor de 3 se consideró como calificación muy baja y para identificarlo se marcó con negrita, itálica y subrayado.

Tabla 2. Promedio y moda de campus responsable.

| | | Campus responsable | Tamaño de muestra: 587 | |
|---|---|---|---|---|
| No. | Código SPSS | Enunciado | Promedio | Moda |
| 1 | V 16 | Existe equidad de género en las instancias de gobierno de mi universidad. | 3.82 | 4 |
| 2 | V 17 | En mi universidad ingresan empleados de cualquier género, religión, raza, orientación política o sexual. | 4.26 | 5 |
| 3 | V 18 | En mi universidad se promueve el trabajo en equipo y la solidaridad. | ***3.40*** | 4 |
| 4 | V 19 | En mi universidad existe un buen clima laboral entre el personal. | ***3.31*** | 4 |
| 5 | V 20 | Me siento escuchado y puedo participar activamente en la vida institucional. | ***3.34*** | 4 |
| 6 | V 21 | Mi universidad promueve valores y temas de responsabilidad social, tanto al interior como al exterior del campus. | 3.52 | 4 |
| 7 | V 22 | Mi universidad es ambientalmente responsable. | 3.50 | 4 |
| 8 | V 23 | El personal recibe capacitación en temas ambientales por parte de mi universidad. | ***<u>2.86</u>*** | 3 |
| 9 | V 24 | El nivel de remuneración y los beneficios sociales que otorga mi universidad son aceptables. | ***3.38*** | 4 |
| 10 | V 25 | Mi universidad otorga facilidades para el desarrollo personal y profesional de su personal. | 3.91 | 4 |
| 11 | V 26 | Mi universidad me informa adecuadamente acerca de todas las decisiones institucionales que me conciernen y afectan. | ***3.11*** | 4 |
| 12 | V 27 | Se otorga periódicamente información económico-financiera al personal de mi universidad. | ***<u>2.80</u>*** | 2 |
| 13 | V 28 | Uno de los objetivos principales de mi universidad es generar egresados de alta calidad. | 4.27 | 5 |
| 14 | V 29 | Mi universidad se asegura que sus recursos son utilizados en forma honesta para los fines institucionales. | 3.50 | 4 |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. Promedio y moda de formación profesional y ciudadana.

| | | Formación profesional y ciudadana | Tamaño de muestra: 390 | |
|---|---|---|---|---|
| **No.** | **Código SPSS** | **Enunciado** | **Promedio** | **Moda** |
| 1 | V 31 | Mi universidad respeta las tendencias políticas de sus miembros. | 3.88 | 4 |
| 2 | V 32 | Percibo que los estudiantes están bien informados acerca de las injusticias sociales y los riesgos ecológicos del mundo actual. | ***2.86*** | 2 |
| 3 | V 33 | Mi universidad otorga a los estudiantes una formación ética que los ayuda a ser personas socialmente responsables. | ***3.23*** | 4 |
| 4 | V 34 | He tenido reuniones con académicos para examinar los aspectos de responsabilidad social ligados al departamento donde estoy adscrito. | ***2.37*** | 2 |
| 5 | V 35 | Los diversos cursos que imparto están actualizados y responden a necesidades sociales del entorno. | 3.93 | 4 |
| 6 | V 36 | En los cursos a mi cargo los estudiantes tienen que hacer actividades que impactan positivamente en el entorno social. | 3.65 | 4 |
| 7 | V 37 | Relaciono a menudo los contenidos temáticos enseñados con los problemas sociales y ambientales de la actualidad. | 4.03 | 4 |
| 8 | V 38 | He tenido la oportunidad de vincular cursos a mi cargo con proyectos sociales fuera de la universidad. | ***3.26*** | 4 |
| 9 | V 39 | He participado en actividades de voluntariado con académicos y alumnos. | ***3.04*** | 4 |
| 10 | V 40 | En mi departamento hemos tenido reuniones con actores sociales externos para discutir la pertinencia social del plan de estudios. | ***2.72*** | 2 |
| 11 | V 41 | Hemos tenido reuniones con egresados para discutir la adecuación del plan de estudios a las demandas sociales actuales. | ***2.66*** | 2 |
| 12 | V 42 | Mi universidad incentiva a los académicos a prestar servicios gratuitos a grupos o comunidades de escasos recursos. | ***2.85*** | 3 |
| 13 | V 43 | En mi universidad se promueve el vínculo de las actividades universitarias con la sociedad. | 3.51 | 4 |

Fuente: Elaboración propia





Tabla 4. Promedio y moda de gestión social del conocimiento.

| | | Gestión social del conocimiento | Tamaño de muestra: 390 | |
|---|---|---|---|---|
| **No.** | **Código SPSS** | **Enunciado** | **Promedio** | **Moda** |
| 1 | V 45 | Mi universidad cuenta con líneas de investigación orientadas al desarrollo social y la sostenibilidad ambiental. | 3.91 | 4 |
| 2 | V 46 | Los temas de investigación son definidos en consulta con los intereses de los grupos externos involucrados. | ***3.18*** | 3 |
| 3 | V 47 | Durante la investigación existen procesos de consulta con los usuarios de los resultados, a través de entrevistas, reuniones comunitarias u otros mecanismos. | ***3.25*** | 3 |
| 4 | V 48 | Los grupos externos involucrados en la investigación participan de su evaluación final, cuyos resultados se integran al reporte final. | ***3.14*** | 3 |
| 5 | V 49 | Los problemas multidimensionales son investigados de manera interdisciplinaria. | ***3.21*** | 3 |
| 6 | V 50 | Los equipos interdisciplinarios de investigación incorporan en su proceso a actores no universitarios. | ***3.19*** | 3 |
| 7 | V 51 | Mi universidad establece alianzas y sinergias con otros actores (gobierno, empresas u ONG) para elaborar políticas de conocimiento, líneas de investigación o campos de formación adecuados a los requerimientos sociales. | ***3.41*** | 4 |
| 8 | V 52 | Mi universidad promueve la investigación socialmente útil. | 3.55 | 4 |
| 9 | V 53 | Mi universidad cuenta con mecanismos para el seguimiento de las políticas públicas, así como la identificación y análisis de los grandes temas de la sociedad. | ***3.10*** | 3 |
| 10 | V 54 | En mi universidad se promueve y estimula el diálogo entre investigadores y decisores políticos. | ***2.81*** | 3 |
| 11 | V 55 | Mi universidad cuenta con medios específicos de difusión y transferencia de conocimientos a la ciudadanía. | ***3.45*** | 4 |
| 12 | V 56 | Mi universidad promueve la divulgación científica y la difusión del conocimiento a públicos no académicos. | 3.66 | 4 |
| 13 | V 57 | Mi universidad investiga las necesidades de conocimiento pertinente de los grupos sociales más excluidos y trata de satisfacerlas. | ***3.12*** | 3 |
| 14 | V 58 | Mi universidad promueve la capacitación de diversos grupos sociales para la investigación y generación de conocimientos propios. | ***3.22*** | 3 |
| 15 | V 59 | Mi universidad promueve la incorporación permanente de resultados de investigación y estudios de caso en los programas de las materias. | ***3.15*** | 3 |
| 16 | V 60 | Los proyectos de investigación incorporan sistemáticamente a los alumnos. | 3.63 | 4 |
| 17 | V 61 | Los investigadores de mi universidad disponen de tiempo y recursos para atender a los alumnos. | ***3.34*** | 4 |
| 18 | V 62 | Mi universidad promueve un código de ética de la ciencia y de los científicos, así como la vigilancia ciudadana de la actividad científica. | ***3.09*** | 3 |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5. Promedio y moda de participación social.

| | | Participación social | Tamaño de muestra: 587 | |
|---|---|---|---|---|
| No. | Código SPSS | Enunciado | Promedio | Moda |
| 1 | V 64 | Mi Universidad hace contribuciones culturales, deportivas y servicios de acuerdo a las necesidades de la sociedad. | 3.97 | 4 |
| 2 | V 65 | Mi Universidad contribuye a campañas y proyectos que promocionan el bienestar de la sociedad. | 3.87 | 4 |
| 3 | V 66 | Mi Universidad cumple con las regulaciones legales. | 3.92 | 4 |
| 4 | V 67 | Mi Universidad trata de ayudar al gobierno en la solución de los problemas sociales. | 3.57 | 4 |
| 5 | V 68 | Mi Universidad coopera con otras instituciones académicas en proyectos sociales. | 3.92 | 4 |
| 6 | V 69 | Mi Universidad proporciona información académica completa a los empleadores. | 3.52 | 4 |
| 7 | V 70 | Mi universidad mantiene contacto con actores clave del desarrollo social (Estado, ONG, organismos internacionales, empresas). | 3.65 | 4 |
| 8 | V 71 | Mi universidad brinda a su personal oportunidades de interacción con diversos sectores sociales. | 3.56 | 4 |
| 9 | V 72 | Mi universidad organiza foros y actividades en relación con el desarrollo, los problemas sociales y ambientales. | 3.85 | 4 |
| 10 | V 73 | En mi universidad existen iniciativas de voluntariado y nos motiva a participar de ellas. | ***3.17*** | 3 |
| 11 | V 74 | En mi universidad he podido formar parte de grupos y/o redes con fines sociales o ambientales organizados o promovidos por mi universidad. | 2.97 | 3 |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6. Promedio y moda de compromiso organizacional.

| | | Compromiso organizacional | Tamaño de muestra: 587 | |
|---|---|---|---|---|
| No. | Código SPSS | Enunciado | Promedio | Moda |
| 1 | V 76 | Estoy dispuesto a dar mi mayor esfuerzo con tal de que mi universidad sea exitosa. | 4.68 | 5 |
| 2 | V 77 | Platico con mis amigos respecto a la gran organización que es mi universidad para trabajar en ella. | 4.20 | 4 |
| 3 | V 78 | Aceptaría casi cualquier asignación en el ámbito de mi trabajo con tal de seguir dentro de mi universidad. | 3.82 | 4 |
| 4 | V 79 | Encuentro que mis valores y los de mi universidad son muy similares. | 4.02 | 4 |
| 5 | V 80 | Estoy orgulloso de poder decirles a otros que formo parte de mi universidad. | 4.57 | 5 |
| 6 | V 81 | Mi universidad extrae lo mejor de mí para desempeñar mi trabajo. | 4.03 | 4 |
| 7 | V 82 | Estoy contento que seleccioné a mi universidad para trabajar en ella sobre otras instituciones. | 4.51 | 5 |
| 8 | V 83 | Realmente me interesa el destino de mi universidad. | 4.74 | 5 |
| 9 | V 84 | Mi universidad es la mejor institución para la cual trabajar. | 4.34 | 5 |

Fuente: Elaboración propia.




Tabla 7. Promedio de la RSU y sus dimensiones.

| Código SPSS | Parámetro | Promedio | Tamaño de muestra |
|---|---|---|---|
| - | Promedio final de responsabilidad social universitaria. | 3.4159 | 587 |
| V 30 | Promedio de campus responsable. | 3.4985 | 587 |
| V 44 | Promedio formación profesional y ciudadana. | 3.2305 | 390 |
| V 63 | Promedio gestión social del conocimiento. | 3.3011 | 390 |
| V 75 | Promedio participación social. | 3.6338 | 587 |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8. Promedio del compromiso organizacional y sus dimensiones.

| Código SPSS | Parámetro | Promedio | Tamaño de muestra |
|---|---|---|---|
| V 85 | Promedio compromiso organizacional. | 4.3233 | 587 |
| V 86 | Promedio compromiso afectivo. | 4.2311 | 587 |
| V 87 | Promedio compromiso de continuación. | 4.2067 | 587 |
| V 88 | Promedio compromiso normativo. | 4.5320 | 587 |

Fuente: Elaboración propia.

De la aplicación del análisis de correlación canónica a las variables independientes género, edad, antigüedad, campus responsable (CR) y participación social (PS) y a una sola variable dependiente compromiso organizacional (CO), que correspondería a un análisis de regresión lineal múltiple, se concluye que el género, la edad y la antigüedad no tienen relación con el compromiso organizacional y que las dimensiones de campus responsable (r = 0.5928) y participación social (r = 0.5499) que corresponden a la RSU sí tienen relación con el compromiso organizacional (Tabla 9). En este caso estamos infiriendo respecto a la percepción de todo el recurso humano (n = 587) de la UNISON.

De la tabla 10 podemos observar que el coeficiente de correlación canónica ubicado al final es de 0.620. Este se interpreta como la relación que hay entre las dos variables canónicas de la función canónica. Estas dos variables representan al compromiso organizacional y a la responsabilidad social universitaria. Podemos concluir entonces que sí hay relación entre estos constructos. De las cargas canónicas podemos concluir que la relación entre campus responsable y la RSU es muy alta (0.956), también entre la participación social y la RSU (0.887).

Los resultados anteriores son muy relevantes para esta investigación. La correlación canónica entre las variables canónicas CO y RSU es aceptable, lo que permite concluir que si la UNISON logra impulsar iniciativas de RSU podrá incrementar el CO de su recurso humano. Además, los instrumentos de medición de CR y PS tienen alta correlación con la RSU, es decir, que midiendo CR y PS podemos inferir que medimos la RSU.

Tabla 10. Coeficientes de correlación para personal administrativos y de servicios, y directivo.

| Variable dependiente | Variable independiente | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Género | Edad | Antigüedad | CR | PS |
| CO | 0.0893 | - 0.1738 | - 0.0860 | 0.5928 | 0.5499 |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11. Cargas canónicas y cruzadas para personal administrativo y de servicios, y directivo.

| Variables originales | Función canónica 1 | |
|---|---|---|
| | Cargas canónicas | Cargas cruzadas |
| CO | 1.000 | 0.620 |
| Variancia explicada | 100% | 62% |
| Género | 0.144 | 0.089 |
| Edad | - 0.280 | - 0.174 |
| Antigüedad | - 0.139 | - 0.086 |
| CR | 0.956 | 0.593 |
| PS | 0.887 | 0.555 |
| Variancia explicada | 85% | 33% |
| Correlación canónica | 0.620 | |

Fuente: Elaboración propia.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Del análisis de correlación canónica se puede concluir que la RSU sí tiene relación positiva con cada una de sus dimensiones: campus responsable, formación profesional y ciudadana, gestión social del conocimiento y participación social. Asimismo la RSU sí tiene relación positiva con el compromiso organizacional. Este estudio contribuye a confirmar las propuestas encontradas en la literatura respecto a la RSU y sus dimensiones, y de la RSE y el compromiso organizacional.

La calificación promedio de todo el personal para Compromiso Organizacional es de 4.3233 y la de Responsabilidad Social Universitaria es de 3.4159. Es sustancialmente más alta la calificación asignada a CO que a RSU, debe entonces preocupar incrementar la RSU que el CO. Aunque el objetivo va dirigido a generar un impacto positivo en el CO, las estrategias se deben enfocar a la RSU, lo que permitirá incrementar la calificación de la percepción de la RSU por parte del recurso humano de la UNISON, Unidad Regional Centro.

## BIBLIOGRAFÍA


1) Bowen, H. R. (1953). *Social Responsabilities of the Businessman*. New York: Harper y Row.
2) Carroll, A. B. (1979). *A Three-Dimensional Conceptual Model of Corporate Performance.* Academy of Management Review, *4*(4), 497-505.
3) Dahlsrud, A. (2008). *How CRS is Defined*. Corporate Social Responsibility and Environmenental Management, (15), 1-13.
4) Van Marrewijk, M. (2003). *Concepts and definitions of CSR and corporate sustainability: between agency and communion.* Journal of Business Ethics, 44(2/3), 95-105.
5) Martí, J., Martínez, F., Martí, M., y Marí, R. (2007). *Responsabilidad Social Universitaria: Acción Aplicada de Valoración del Bienestar en Personas Adultas Mayores Institucionalizadas.* Polis (18).
6) Vallaeys, F. (2005). *Breve marco teórico de la Responsabilidad Social Universitaria.* Recuperado el 25 de Marzo de 2011 de: http://blog.pucp.edu.pe/item.
7) OReilly, C., y Chatman, J. (1986). *Organizational Commitment and Psychological Attachment: The Effects of Compliance, Identification and Internalization on Prosocial Behavior*. Journal of Applied Psychology, 71(8), 492-499.
8) Meyer, J. P., Stanley, D. J., Herscovitch, L., y Topolnytsky, L. (2002). *Affective Continuance, and Normative Commitment to the Organization: A Meta-analysis of Antecedents, Correlates and Consequences.* Journal of Vocational Behavior, *61*, 20-52.
9) Collier, J., y Esteban , R. (2007). *Corporate Social Responsability and Employee Commitment*. Business Ethics: A European Review, 16(1), 19-33.




# LA EXPLORACIÓN GEOLÓGICA

ROGELIO MONREAL SAAVEDRA*

*Durante millones de años, los recursos minerales se han ido formando en lugares específicos conocidos como yacimientos minerales los cuales son escasos y difíciles de ubicar. La exploración es de vital importancia para la industria minera y el geólogo viene hacer una pieza importante para su exploración y posterior explotación. La exploración inicia con la búsqueda de un depósito mineral, utilizando una serie de procesos e indicadores geológicos que sirven para localizar un lugar en la superficie de la Tierra que tenga posibilidades de contener un yacimiento mineral: esto es conocido como prospección o exploración de yacimientos minerales. Si el geólogo define que la zona puede ser de interés económico, se continúa con el estudio del yacimiento mediante la perforación de pozos o barrenos en el subsuelo. La exploración, en su primera fase, termina cuando se establece la existencia o no de un yacimiento mineral con posibilidades de ser económicamente viable para su extracción o explotación. La exploración, en su segunda fase, se efectúa durante y después de la construcción, y durante la "vida" de una mina. La minería necesita de la exploración geológica para ubicar los recursos minerales en grandes proporciones y así poder extraerlos o explotarlos.*

DR. ROGELIO MONREAL SAAVEDRA
Departamento de Geología, Universidad de Sonora
Correo: monreal@ciencias.uson.mx

*Autor para correspondencia: Rogelio Monreal Saavedra
Correo electrónico: monreal@ciencias.uson.mx
Recibido: 16 de Abril de 2013
Aceptado: 15 de Noviembre de 2013
ISSN: 2007-4530



## INTRODUCCIÓN

Un depósito mineral es una concentración anómala de un mineral o elemento metálico de suficiente tamaño para que en circunstancias favorables, sea considerado con potencial económico; mientras que un yacimiento mineral es un depósito de algún mineral o minerales que ha sido estudiado y se ha probado tener suficiente tamaño, cantidad mineral y accesibilidad, como para que pueda ser explotado para producir ganancia económica.

El geólogo es el encargado de estudiar la historia de la formación de la Tierra, la estructura de nuestro planeta, su naturaleza, su formación y su composición, también se encarga de estudiar los cambios y alteraciones que ésta ha tenido a lo largo del tiempo durante millones de años. A través de procedimientos científicos, estos profesionistas determinan de que está hecha o como se originó cierta roca o terreno en la Tierra.

Durante millones de años, los recursos minerales se han ido formando en lugares específicos (depósitos y yacimientos minerales) ubicados en el subsuelo en condiciones muy especiales, por lo que son escasos y difíciles de ubicar. La minería necesita del estudio de la geología para encontrar los recursos minerales que cumplan con sus objetivos y poder así extraerlos.

La actividad minera inicia con la realización de una serie de actividades de trabajo conocidas como prospección o exploración por parte del geólogo, con el objetivo de localizar depósitos minerales de interés, estudiándolos y tratando de entender los procesos naturales que los originó. Para esto, recoge muestras de roca o de suelos, que posteriormente lleva al laboratorio para realizar diversos análisis químicos, para definir el contenido de metales u otros componentes importantes, para así definir si esos depósitos pueden llegar a constituir yacimientos minerales importantes (1). De manera paralela con los estudios geoquímicos se llevan a cabo labores más minuciosas y precisas para poder determinar las características del depósito mineral, como es el uso de tecnologías, como imágenes satelitales, sistemas de información geográfica, técnicas geofísicas, perforaciones de las rocas, etcétera, que ayudan a confirmar la existencia de cuerpos mineralizados en el subsuelo (2).

La exploración es de vital importancia para la industria minera, ya que ayuda al geólogo a localizar los minerales que serán posteriormente minados; sin embargo, la exploración continúa cuando es encontrado y se mantiene con la finalidad de incrementar las reservas que alarguen la vida de la mina. Posteriormente se definen a detalle las características más importantes a nivel geológico que permiten definir tipo de yacimiento, forma del cuerpo del mineral, tipo de mineralización, extensión de la mineralización etcétera, que ayudará en gran medida a definir un depósito económicamente explotable. La etapa de exploración termina con el inicio del minado y la extracción del mineral a cargo del ingeniero de minas, el cual debe de cuidar que toda recuperación sea al mínimo costo posible, pero cuidando siempre del medio ambiente. Todo esto implica un alto riesgo económico, ya que los gastos de exploración son elevados y sólo se recuperan en caso de pasar a la etapa de la explotación minera. Este proceso de exploración involucra la participación de geólogos exploradores, de inversionistas, autoridades del estado y la comunidad en general (3).

## INICIO DE LA EXPLORACIÓN MINERA

Encontrar un yacimiento mineral económicamente explotable para convertirlo en mina no se da por mera casualidad, antes de eso, los geólogos realizan una serie de actividades en el campo utilizando, además de una cartografía a detalle de las áreas de interés, una serie de técnicas analíticas en las áreas de geoquímica y geofísica que respaldan y robustecen las observaciones hechas en el campo (Figuras 1 y 2) (4).



Figura 1. Grupo de geólogos llevando a cabo la primera etapa de exploración, estudiando mapas y fotografías aéreas para localizar áreas de interés, y así determinar la zona que se va a explorar.



Figura 2. El geólogo realizando trabajo de campo, toma nota de las estructuras de la zona, como fallas y fracturas para poder reconocer las características del yacimiento mineral.



Esta parte inicial que lleva la intención de reconocer un área que tenga la posibilidad de contener un yacimiento mineral se le llama prospección o exploración. Esta etapa se inicia por detectar zonas "anómalas" o diferentes al resto de las áreas en las que, por sus características geológicas podría presentar algunas particularidades que pudieran definir un yacimiento mineral "económicamente extraíble" (5, 6). Para definir estos blancos de exploración, los geólogos deben de revisar mapas, fotografías áreas, imágenes de satélite y radar, entre otros y recopilar toda esta información para para comenzar el trabajo de campo de prospección (Figura 3) (7).

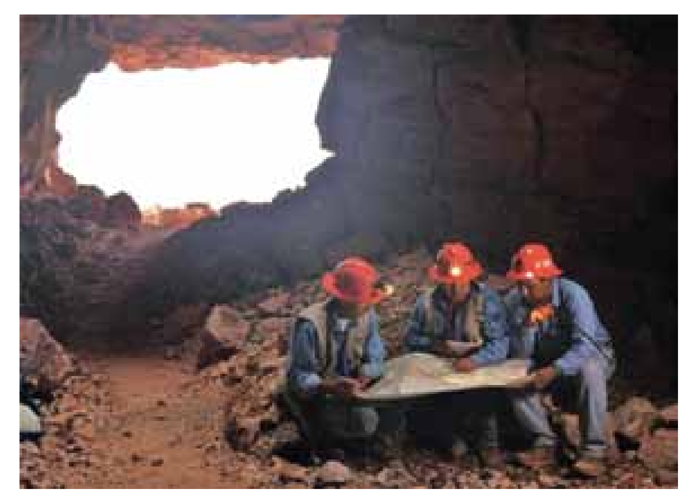


Figura 3. Geólogos observando un mapa en el interior de una mina.

Una vez establecidas las posibilidades de que en una zona exista mineral, se pasa al análisis sobre el terreno, es decir, en el campo. El objetivo es definir y detallar el tamaño y forma de la zona "anómala" para corroborar o descartar la hipótesis inicial de existencia de algún yacimiento mineral. Los geólogos exploran la superficie de la zona elegida, estudian y toman muestras de roca para analizarlas, ya sea bajo el microscopio o por análisis químico en laboratorios especiales, realizan mediciones, y elaboran mapas con las distribuciones de los tipos de rocas, estructuras y otras características que ayuden a identificar y conocer el yacimiento mineral. Con esto se puede tener mejor información de la calidad, cantidad y distribución de los minerales de interés económico, así como también del origen de los minerales. Es importante mencionar, que los trabajos de toma de muestras no afectan en ningún aspecto al medio ambiente, ya que la cantidad de muestra levantada es pequeña y son tomadas en la superficie del terreno.

Después de encontrar y estudiar un yacimiento mineral de interés es indispensable que la empresa proteja el área de estudio llevando a cabo el correspondiente denuncio minero (registro antes las autoridades competentes) antes de invertir en trabajos de exploración.

## EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO

Durante la exploración, después que el geólogo define si la zona puede ser de interés económico para contener un yacimiento mineral, se continúa con el estudio del yacimiento mediante la perforación de pozos o barrenos en el subsuelo. La máquina utilizada para la barrenación, como si fuera un taladro, perfora extrayendo un cilindro de roca llamado núcleo, y con esto se puede conocer que rocas y minerales existen y a que profundidad. Según las características geológicas definidas por el geólogo en las primeras etapas de exploración en el área de interés, se define en dónde y a qué profundidad se barrenará el terreno para conocer el yacimiento con mayor detalle.

Una forma de definir la extensión y profundidad del yacimiento, es llevar a cabo un programa de barrenación utilizando una cuadrícula o serie de pozos o barrenos distribuidos por toda el área del yacimiento mineral, diseñados para precisar con mayor exactitud el yacimiento (Figura 4). Con la información obtenida del programa de barrenación, se definen las dimensiones exactas del yacimiento y las áreas con mayor ley y volumen de mineral. Se realizan sondeos y mediciones geológicas y geofísicas en los barrenos y se vuelven a tomar muestras, esta vez del subsuelo, para ser analizadas (Figura 5) (8).



Figura 4. Maquinaria utilizada en la perforación durante la exploración.



Figura 5. Núcleos de roca obtenidos durante la barrenación, éstos se colocan de manera ordenada para su análisis.

Estos trabajos generan un impacto moderado sobre el ambiente, por lo que requieren de autorización escrita de los propietarios de los terrenos; y trabajar de acuerdo a las normas ambientales vigentes para cuidar nuestro ambiente.

## TÉRMINO DE LA EXPLORACIÓN

La primera fase de exploración, termina cuando se establece si en la zona seleccionada existe o no un yacimiento mineral con posibilidades de ser económicamente viable para su extracción o explotación. Muchas exploraciones no culminan con la instalación o desarrollo de una mina, ya que después de todos los estudios posibles efectuados en la primera etapa, puede llegarse a la conclusión de que el yacimiento mineral no justifica la construcción de una mina por no ser "económicamente explotable". Por consiguiente, no se recupera el capital invertido en el proceso de exploración.

La exploración, en su segunda fase, se efectúa durante y después de la construcción, y durante la "vida" de una mina. Es importante para la empresa minera que la "vida de la mina" continúe por muchos años, por lo que la empresa se debe de asegurar de que exista mineral, por lo que debe continuar con los trabajos de exploración, para así conocer o encontrar otros lugares cercanos para extraer mineral. En ese sentido, el crecimiento y la supervivencia de una mina dependen, en gran medida, de la política de exploración de la empresa.

## RESPONSABILIDAD AMBIENTAL DURANTE LA EXPLORACIÓN MINERA

En muchos casos no se encuentra el yacimiento esperado, por lo que el área que fue afectada por los trabajos de exploración debe ser rehabilitada, tratando de que recupere, en la medida de lo posible, sus características y condiciones originales. Por tal motivo se realizan actividades de reforestación, restauración y recuperación de suelos y adecuación de especies de animales que se encontraban originalmente en el área donde se llevó a cabo la exploración.



La minería formal cuenta con los permisos y autorizaciones otorgados por el Estado que fiscaliza permanentemente las actividades mineras y su relación con el ambiente y las comunidades. Además, aplica en su labor diaria buenas prácticas ambientales que nos permiten conservar para el futuro la flora, la fauna y los ecosistemas de los que hoy gozamos en nuestro país (Figura 6).



Figura 6. Durante la etapa de exploración por lo general el medio ambiente no es muy afectado, a pesar de esto las compañías mineras, al término de una exploración, realizan campañas de reforestación en dichas zonas. (Vivero en Minera San Xavier, S.A. de C.V., San Luis Potosí).

## CONCLUSIONES

Un yacimiento mineral es un cuerpo de roca o zona con una concentración de uno o más elementos químicos y/o minerales de interés económico, el cual está rodeado de otros minerales o materiales no económicos y no aprovechables. Estos elementos y minerales de interés económico se encuentran distribuidos en de la superficie de la Tierra de forma escasa y uno de los retos es encontrar este tipo de concentraciones minerales.

Existen muchos depósitos minerales en el planeta, pero no todos se pueden explorar o extraer. Algunos porque el mineral que contienen es de poco interés o valor, otros porque los costos de su extracción superarían los beneficios que se obtendrían al explotarlo, es decir, costaría más extraer el mineral que lo que vale venderlo. La minería necesita de la exploración geológica para ubicar los recursos minerales en grandes proporciones y así poder extraerlos o explotarlos. La primera etapa de la actividad minera es la búsqueda del yacimiento, para lo cual se realizan trabajos llamados de prospección, que consisten en colectar muestras de roca o cavar zanjas para obtener muestras, que se analizan en laboratorios especiales. En la práctica, la etapa exploración se inicia con la búsqueda de un depósito mineral, continúa cuando se encuentra y reconoce como yacimiento mineral y se definen sus características geológicas y termina con la extracción del mineral.

## BIBLIOGRAFÍA


1) Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía (2013). La exploración minera. Recuperado el 9 de octubre de 2013 de: http://www.exploradores.org.pe/mineria/como-se-producen-los-minerales/exploracion.html.
2) Floody, R., y Cuadra P. (2013). Trabajo geológico de exploración: encontrando un yacimiento. Recuperado el 9 de octubre de 2013 de: https://www.codelcoeduca.cl/procesos_productivos/escolares_exploracion.asp.
3) Morel, R. (2013). La Geología y su relevancia en los procesos de la Minería. Recuperado el 9 de octubre de 2013 de: http://construyendodialogo.com/2010/07/14/la-geologia-y-su-relevancia-en-los-procesos-de-la-mineria-rodrigo-morel/.
4) RS-GEOIMAGE (2013). Imágenes de satélite en la exploración geológica – minera. Recuperado el 9 de octubre de 2013 de: http://redrum007.ning.com/forum/attachment/download?id=3851093%3AUploadedFile%3A8527.
5) Exploración Minera (2013). Recuperado el 9 de octubre de 2013 de: http://www.fi.unsj.edu.ar/descargas/ingreso/exploracion-minera.pdf.
6) Griem-Klee S. (2013). Exploraciones mineras. Recuperado el 9 de octubre de 2013 de: http://www.geovirtual.cl/EXPLORAC/TEXT/00000c~1.HTM.
7) Higueras, P. (2013). Exploración minera. Recuperado el 9 de octubre de 2013 de: http://www.uclm.es/users/higueras/yymm/YM14.html.
8) Castillo-Gómez, J. y Herrera-Herbert, J. (2013). El proceso de exploración minera mediante sondeos. Recuperado el 9 de octubre de 2013 de: http://oa.upm.es/10695/1/20120330_El_Proceso_de_Exploracion_Minera_mediante_Sondeos.pdf.







# MAPA DE ZONAS AGROCLIMÁTICAS DE LA CUENCA DEL RÍO SAN MIGUEL, SONORA, MÉXICO

MARÍA DEL CARMEN HERAS SÁNCHEZ*, JOSÉ ALFREDO OCHOA GRANILLO, RAÚL GILBERTO HAZAS IZQUIERDO

*Se propone una metodología para generar mapas de zonas agroclimáticas para la cuenca del Río San Miguel, Sonora, México, utilizando datos disponibles de temperatura, precipitación y elevaciones del terreno, a partir de los cuales se calcularon modelos de evapotranspiración, humedad disponible y la relación entre los diferentes parámetros climáticos, considerando la elevación como el factor determinante en el comportamiento de las variables climáticas. Los mapas generados pueden ser utilizados como una aproximación inicial con propósitos de planeación regional.*

M.C. María del Carmen Heras Sánchez
Departamento de Matemáticas,
Universidad de Sonora
Correo: carmen@acarus.uson.mx

M.C. José Alfredo Ochoa Granillo
Departamento de Geología,
Universidad de Sonora
Correo: ochoa@correo.geologia.uson.mx

M.C. Raúl Gilberto Hazas Izquierdo
Departamento de Investigación en Física,
Universidad de Sonora
Correo: rhazas@difus.uson.mx

*Autor para correspondencia: María del Carmen Heras Sánchez
Correo electrónico: carmen@acarus.uson.mx
Recibido: 26 de Septiembre de 2013
Aceptado: 14 de Noviembre de 2013
ISSN: 2007-4530

## INTRODUCCIÓN

La cuenca del Río San Miguel, Sonora, México, se localiza en la zona de transición entre las regiones fisiográficas Llanura Sonorense y la Sierra Madre Occidental. Debido a su ubicación, desde el año 2004, ha sido el sitio más relevante del noroeste de México para estudios del Monzón de Norteamérica, fenómeno climatológico que provee más del 70% del agua en la región.

La información requerida para los mencionados estudios se encuentra en una Base de Datos Geográfica (BDG), que integra datos de diversas fuentes, con el propósito de analizar y representar gráficamente, fenómenos climatológicos y fisiográficos como precipitación, temperatura, suelos, topografía, uso del suelo, geología, entre otros [1]. Se agregaron también imágenes de satélite Landsat 4, información tabular, gráficas, estadísticas e información vectorial espacialmente referenciada al sitio de estudio. La conformación de la BDG requirió rigurosos procesos de validación, debido a que las estructuras de datos representan valores continuos en sistemas discretos (como los computacionales), lo que hizo necesario realizar estudios de referenciación y validación geográfica, con lo que se lograron modelos matemáticos y gráficos que representan con precisión los fenómenos físicos de interés en el sitio de estudio.

Crear un mapa de zonas agroclimáticas para la cuenca del Río San Miguel, tiene como finalidad evaluar las zonas con el clima idóneo para varias alternativas de agricultura y reconocer la mayoría de los aspectos climáticos que afectan al crecimiento de las plantas, como son la humedad disponible, la temperatura, la precipitación y la evapotranspiración. El mapa de zonas agroclimáticas está compuesto por una serie de píxeles con las características propias de distintas zonas agroclimáticas, según los criterios establecidos con base en las elevaciones del terreno, la precipitación, la temperatura y las elevaciones de las 5 estaciones climatológicas de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) ubicadas en el área de estudio.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### *Ubicación geográfica del área de estudio*

La cuenca hidrográfica del Río San Miguel se localiza geográficamente en la parte centro-norte del Estado de Sonora, México (Figura 1), siendo los municipios de Cucurpe, Opodepe, Rayón y San Miguel de Horcasitas, los que cubren la mayor extensión territorial de la cuenca con el 36.5%, 20.9%, 15.5% y 7.6%, respectivamente, según la división municipal empleada por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) (Figura 2). El área del polígono en el cual se encuentra enmarcada la cuenca en mención, tiene una extensión de 17,378.25 km$^2$ y un perímetro de 546.11 km. Las coordenadas UTM de los puntos que definen al polígono son las siguientes: a(482805,3408152), b(583812,3408152), c(482805,3236102) y d(583812,3236102) [1].

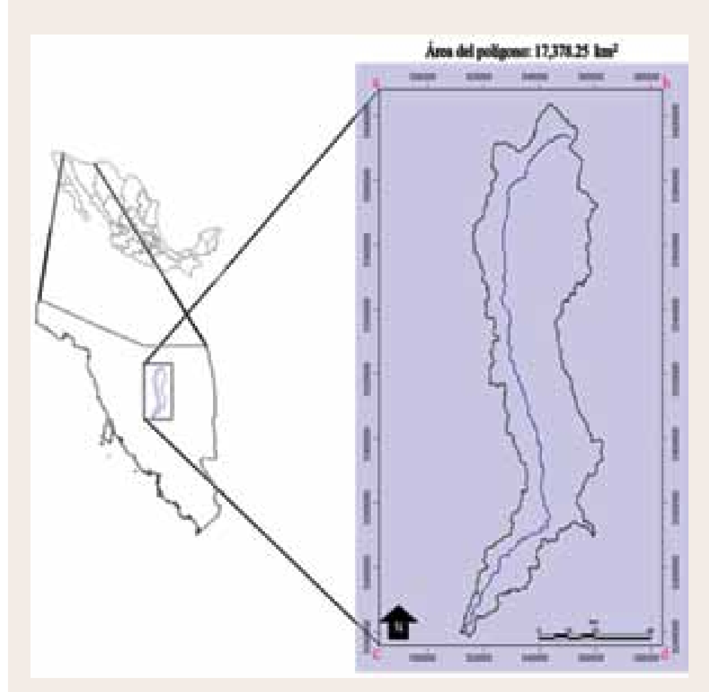



Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio.

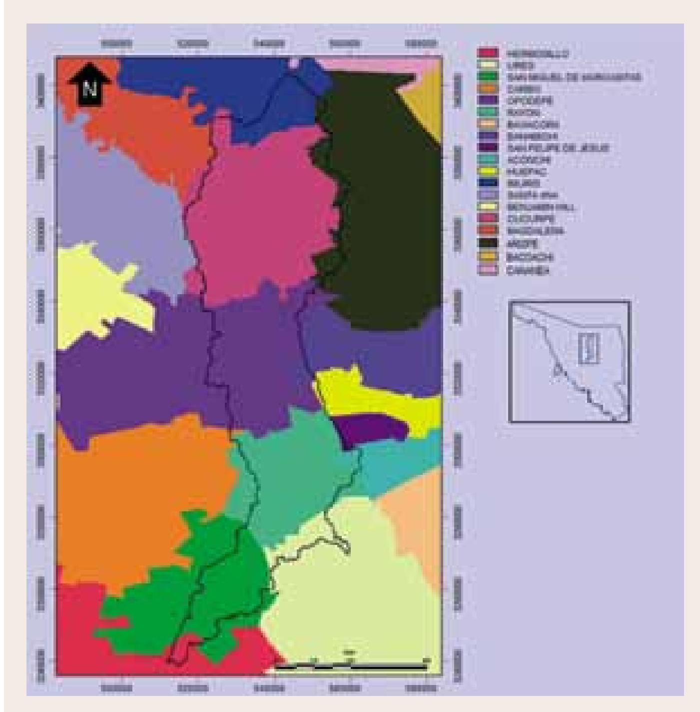



Figura 2. Municipios que cubre el área de estudio.

Es importante mencionar que la cuenca hidrográfica del Río San Miguel queda comprendida dentro de la Región Hidrológica RH-9, Sonora Sur y se encuentra clasificada como una subcuenca de la cuenca Río Sonora. De acuerdo con la clasificación hidrológica que se dispone para esta zona, no se tiene información sobre subregiones hidrológicas formales.



## Base de Datos Geográfica (BDG)

Como parte fundamental de la BDG se cuenta con los Modelos Digitales de Elevación (MDE) del INEGI, los cuales fueron generados de la cartografía topográfica escala 1:50,000 y a partir de los cuales, se delineó la cuenca hidrográfica del Río San Miguel. Como resultados elementales se definió el polígono del área de estudio y se obtuvieron parámetros fisiográficos tanto de la cuenca como del cauce principal; además se generaron una serie de productos cartográficos digitales que contienen información temática como geología, hidrología, uso del suelo, entre otros, imprescindibles para realizar estudios hidrológicos y modelos tridimensionales.

El programa informático utilizado para generar las simulaciones y las modelaciones es IDRISI versión 16 y el origen de la mayoría de los datos son tanto INEGI, como los registros de las estaciones de observación de datos climatológicos de la Universidad de Sonora y de la CONAGUA, las cuales se encuentran distribuidas geográficamente sobre la cuenca del Río San Miguel.

Todos los procesos de manipulación de la información geográfica y climatológica se basan en la metodología creada para esos fines, lo cual brinda la confianza de que los datos han sido validados y analizados.

## Procesos para generar el modelo

Para resolver el modelo ha sido necesario emplear el álgebra de mapas, que es una técnica que se emplea cuando se usan imágenes en formato ráster, como si fueran variables para llevar a cabo operaciones aritméticas con ellas, de tal manera que es posible realizar sumas, restas, y resolver ecuaciones que involucran a una o un grupo de imágenes, las cuales deben tener las mismas referencias geográficas [1].

En relación a las zonas agroclimáticas fueron definidas por una combinación específica de zonas de temperatura y zonas de disponibilidad de humedad [2], de tal manera que se debió generar las imágenes con valores continuos que representara los mencionados fenómenos, tomando como base los registros de Temperatura Promedio Anual (TPA), Precipitación Promedio Anual (PPA), el MDE y las elevaciones de las estaciones climatológicas de la CONAGUA , además de la Evapotranspiración Real, calculada con el método de Turc definido con la siguiente expresión:

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{IT^2}}}$$

Donde *ETR* es la evapotranspiración real expresada en mm/año; *P* es la precipitación media anual dada en mm/año; *IT* es un indicador que depende directamente de la temperatura: $IT = 300 + 25T + 0.05T^3$, donde *T* es la temperatura media anual [3] (Tabla 1; Figura 3).

Tabla 1. Datos de estaciones climatológicas de la CONAGUA (1994-1997).

| No. Estación Climatológica | Nombre de la estación Climatológica | Longitud | Latitud | UTM WGS84/12N | Altitud (msnm) | TPA (ºC) | 47PPA (mm) | ETR (mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | El Cajón | 110º 41' 11" | 29º 28' 20" | 530406,3260347 | 390 | 21.85 | 407.89 | 410.17 |
| 2 | Rayón | 110º 34' 14" | 29º 42' 38" | 541539,3286790 | 560 | 22.26 | 471.82 | 468.99 |
| 3 | Meresichic | 110º 40' 30" | 30º 01' 50" | 531336,3322216 | 700 | 18.97 | 494.37 | 472.14 |
| 4 | Cucurpe | 110º 42' 22" | 30º 19' 50" | 528251,3355451 | 860 | 19.5 | 519.42 | 494.99 |
| 5 | Rancho La Aquituna | 110º 42' 15" | 30º 28' 22" | 528396,3371212 | 950 | 20.3 | 438 | 432.46 |

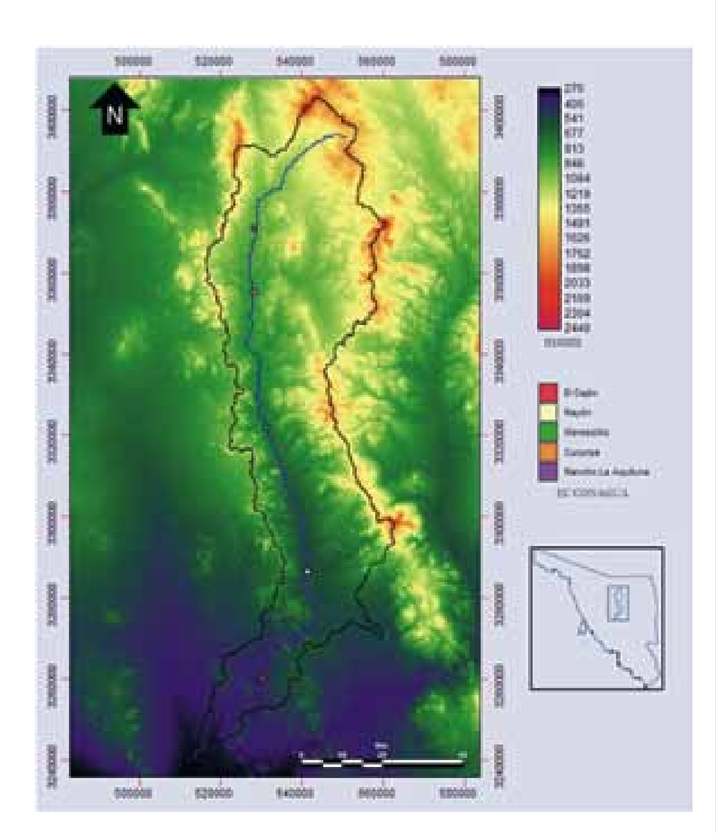



Figura 3. Modelo Digital de Elevación de la cuenca del Río San Miguel, INEGI.

En la figura 4 se muestra la metodología empleada para generar los modelos y realizar tanto los cálculos entre las imágenes como la clasificación de las mismas, los cuales dan como resultado el mapa de zonas agroclimáticas. En el diagrama los rectángulos indican procesos y los romboides indican datos, los cuales pueden ser imágenes en formato ráster o datos alfanuméricos.

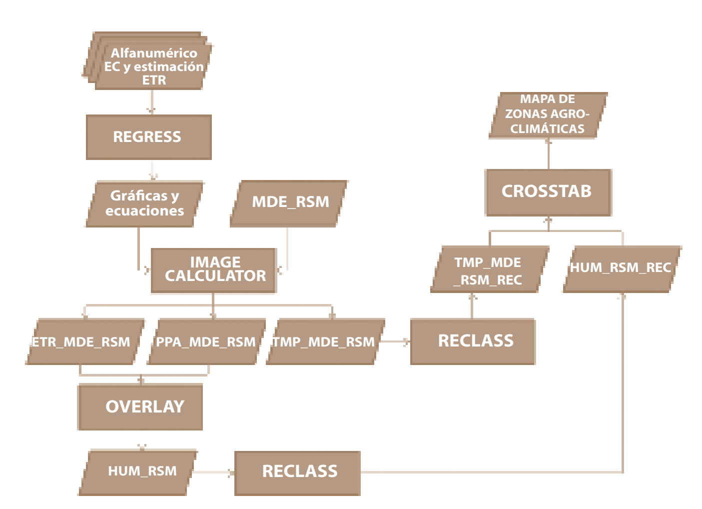



Figura 4. Diagrama de la metodología para generar el mapa de zonas agroclimáticas.



## RESULTADOS

Para generar el modelo de zonas agroclimáticas no se están considerando los factores de intensidad y duración de la precipitación, ni se contabilizan las temporadas de sequía y su variación anual, por la razón de que no se cuenta con los datos, de tal manera que, sólo se puede considerar como una aproximación que provee información básica con propósitos de planeación regional.

### Modelo de temperatura (T) de la cuenca del Río San Miguel

En la tabla 1 se puede observar una relación entre la *TPA* y la elevación de las estaciones climatológicas (EC), en la mayoría de los casos, a las elevaciones más altas, corresponden las temperaturas más bajas y a las elevaciones más bajas, corresponden las temperaturas más altas. Para conocer con exactitud las correspondencias entre las elevaciones y las temperaturas se aplica un análisis de regresión [4], el cual es un método matemático que modela la relación entre una variable independiente (trazada en el eje de las *X*) y una variable dependiente (trazada en el eje de las *Y*), dando como resultado una ecuación matemática que expresa la mencionada relación. En otras palabras, para cualquier valor conocido de *X*, la ecuación calcula un valor para *Y*.

Para aplicar el método de análisis de regresión, se utiliza el subprograma REGRESS de IDRISI [5], considerando a *Y* para los valores de temperatura, los cuales dependen de *X*, que representan los valores de las elevaciones. En la figura 5 se muestra la gráfica de la relación resultante para *X* y *Y*, así como también la ecuación que define la relación.

La gráfica provee información muy importante, por un lado se observan a manera de puntos, las combinaciones entre *T* y la elevación de cada EC, por otro lado se ve la línea de tendencia de la regresión que representa el mejor ajuste entre los datos. Mientras más cerca se encuentre los puntos de la línea de tendencia, más fuerte es la relación entre los datos. Cabe mencionar que el coeficiente de correlación "r" muestra lo mismo numéricamente, para valores entre -1.0 y 0, existe una fuerte relación inversa o negativa, para el valor de 0, no existe una relación y para valores entre 0 y 1.0 existe una fuerte relación positiva [6]. De la misma manera, si la pendiente de la línea va de izquierda a derecha, indica una relación negativa entre los datos, de lo contrario, es una relación positiva. En este caso los datos de *T* y elevación tienen una relación inversa.

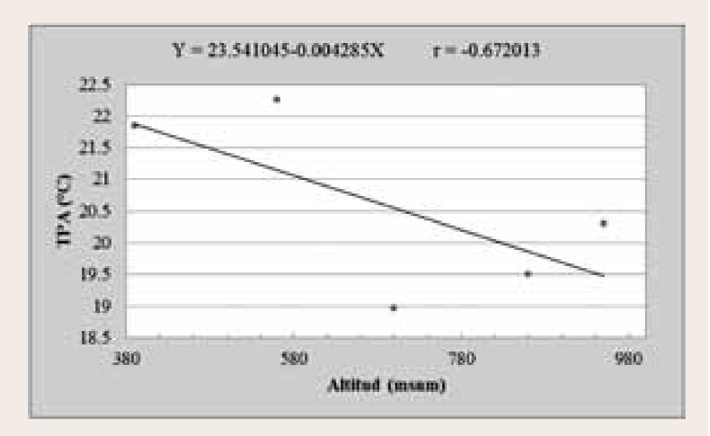



Figura 5. Gráfica del análisis de regresión entre *TPA* y el MDE y su respectiva ecuación.

La ecuación por sí misma es una expresión matemática de la línea:

$$Y = a + bx = 23.541045 - 0.004285X$$

Donde *Y* es la variable dependiente (*T*), *a* es la intersección con el eje de las *Y*, *b* es la pendiente que multiplica a *X*, que es la variable independiente (elevación).

Los cálculos que implica la ecuación anterior se aplican a cada pixel que contiene la imagen de elevaciones del terreno, utilizando el módulo de IDRISI llamado IMAGE CALCULATOR [5], dando como resultado, un modelo de temperaturas, donde se aprecia que las temperaturas más bajas se encuentran en las elevaciones más altas y viceversa (Figura 6).

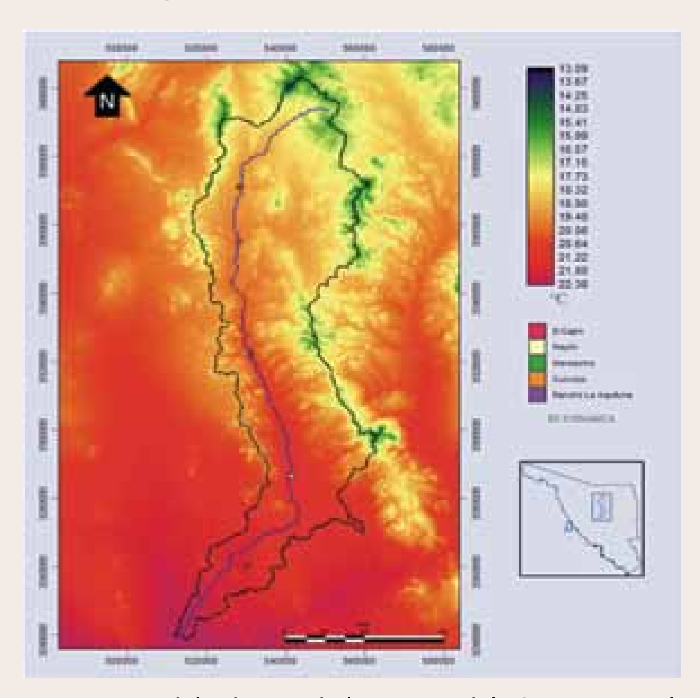


Figura 6. Modelo de *TPA* de la cuenca del Río San Miguel, Sonora, México.

## Modelo de precipitación (P) de la cuenca del Río San Miguel

Para crear el modelo de precipitación, se repiten los procesos y operaciones realizadas anteriormente para crear el modelo de temperaturas.

De igual manera, para aplicar el método de análisis de regresión se utilizó el subprograma REGRESS de IDRISI [5], considerando a *Y* para los valores de precipitación, los cuales dependen de *X*, que representan los valores de las elevaciones. En la figura 7 se muestra la gráfica de la relación resultante para *X* y *Y*, así como también la ecuación que define la relación.

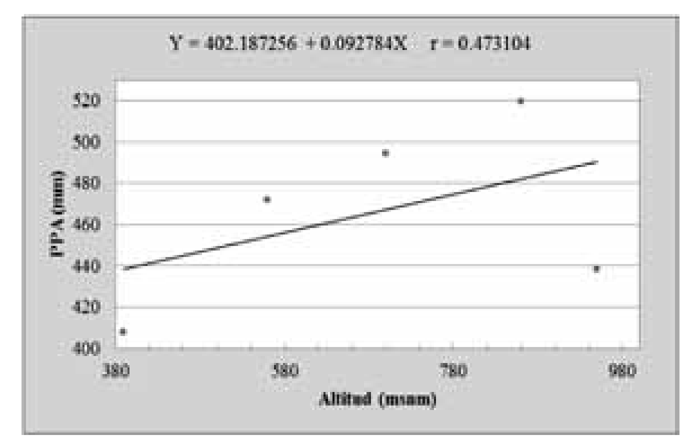



Figura 7. Gráfica del análisis de regresión entre PPA y el MDE y su respectiva ecuación.

La figura anterior provee información muy importante, por un lado se observan a manera de puntos, las combinaciones entre *P* y la elevación de cada EC, por otro lado vemos la línea de tendencia de la regresión que representa el mejor ajuste entre los datos. De manera similar a la línea de regresión de *T*, mientras más cerca se encuentre los puntos de la línea de tendencia, más fuerte es la relación entre los datos. En este caso, el coeficiente de correlación “r” muestra una relación positiva, lo cual indica que a mayores valores de elevación, corresponden mayores valores de precipitación.

De nuevo, la ecuación por sí misma es una expresión matemática de la línea:

$$Y = a + bx = 402.187256 + 0.092784X$$

Nuevamente los cálculos que implica la ecuación anterior se aplica a cada pixel que contiene la imagen de elevaciones del terreno, utilizando el módulo de IDRISI llamado IMAGE CALCULATOR, dando como resultado un modelo de precipitación, donde se aprecia que las precipitaciones más bajas se registran en las elevaciones más bajas y las precipitaciones más altas se registran en las elevaciones más altas (Figura 8).

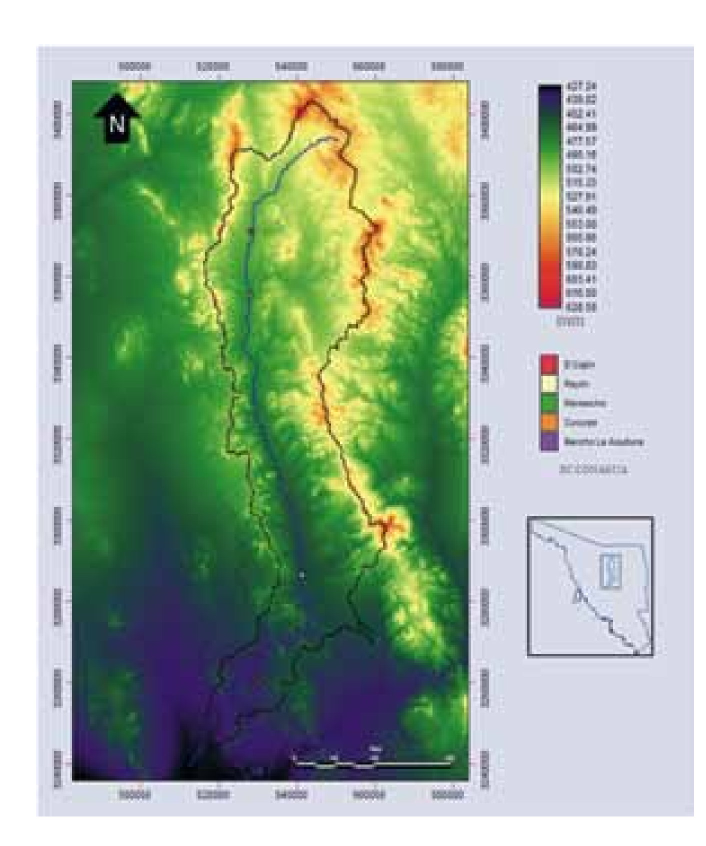


Figura 8. Modelo de *PPA* de la cuenca del Río San Miguel, Sonora, México.

## Modelo de evapotranspiración (ETR) de la cuenca del Río San Miguel

Para crear el modelo de evapotranspiración real, primero se estimaron los valores utilizando el Método de Turc para cada una de las estaciones climatológicas, después se repitieron los procesos y operaciones realizadas anteriormente para crear el modelo de temperaturas.

De nuevo, para aplicar el método de análisis de regresión, se utilizó el subprograma REGRESS de IDRISI [5], considerando a *Y* para los valores de *ETR*, los cuales dependen de *X*, que representan los valores de las elevaciones. En la figura 9 se muestra la gráfica de la relación resultante para *X* y *Y*, así como también la ecuación que define la relación.

La gráfica provee información muy importante, por un lado se observan a manera de puntos, las combinaciones entre *ETR* y la elevación de cada EC, por otro lado vemos la línea de tendencia de la regresión que representa el mejor ajuste entre los datos. El coeficiente de correlación "r" muestra una relación positiva, lo cual indica que a mayores valores de elevación, corresponden mayores valores de *ETR*.

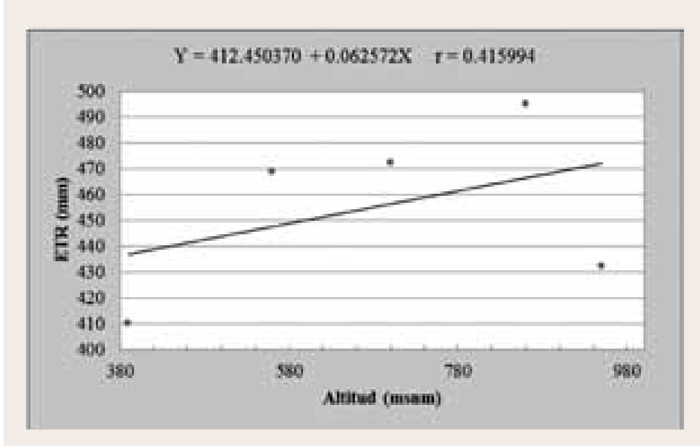



Figura 9. Gráfica del análisis de regresión entre *ETR* y el MDE y su respectiva ecuación.

De nuevo, la ecuación por sí misma es una expresión matemática de la línea:

$$Y = a + bx = 412.450370 + 0.062572X$$

Donde *Y* es la variable dependiente (*ETR*). Nuevamente los cálculos que implica la ecuación anterior se aplican a cada pixel que contiene la imagen de elevaciones del terreno, utilizando el módulo de IDRISI llamado IMAGE CALCULATOR, dando como resultado, un modelo de evapotranspiración, donde se aprecia que los valores de *ETR* más bajos se registran en las elevaciones más bajas y los valores de *ETR* más altos se registran en las elevaciones más altas (Figura 10).

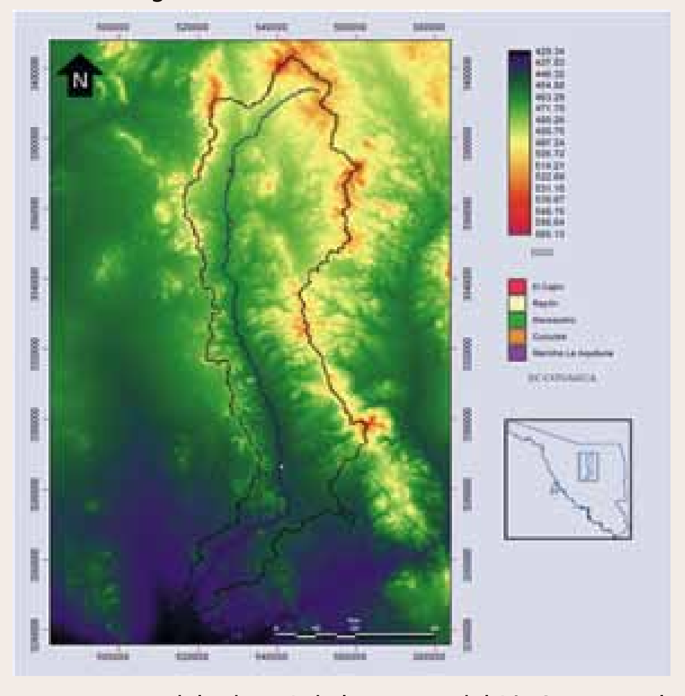


Figura 10. Modelo de *ETR* de la cuenca del Río San Miguel, Sonora, México.



## Modelo de disponibilidad de humedad

Para generar el modelo de zonas agroclimáticas, además de los modelos de temperaturas, precipitación y evapotranspiración, se requiere un modelo de disponibilidad de humedad. La humedad disponible es un indicador del balance entre la Precipitación Promedio Anual (*PPA*) y la Evapotranspiración Real (*ETR*) y se calcula de la siguiente manera:

$$Humedad = PPA/ETR$$

Considerando la fórmula anterior se utiliza el módulo de IDRISI llamado OVERLAY [5], el cual genera una imagen a partir de los cálculos que se realizan con los valores de los pixeles de otras 2 imágenes. En este caso se utilizaron las imágenes de los modelos de precipitación y evapotranspiración, donde cada uno de los píxeles del primero, fue dividido entre el valor del pixel de igual ubicación geográfica del segundo y el resultado de la operación se almacenó en el pixel de la imagen resultante, el cual se convirtió en el modelo de humedad disponible; la expresión matemática de la operación fue:

$$Humedad(X_i,Y_j) = PPA(X_i,Y_j) / ETR(X_i,Y_j)$$

La imagen resultante contiene valores sin unidad, ya que se dividió la precipitación expresada en mm, entre la evapotranspiración, también expresada en mm, donde los píxeles con valores igual a 1, indican un balance exacto entre los 2 parámetros implicados. Cuando los valores de los píxeles son mayores a 1, la *PPA* es mayor que la *ETR* indicando un balance positivo de humedad disponible, por lo contrario, cuando los valores de los píxeles son menores a 1, la *ETR* es mayor que la *PPA*, significando un balance negativo de disponibilidad de humedad (Figura 11).

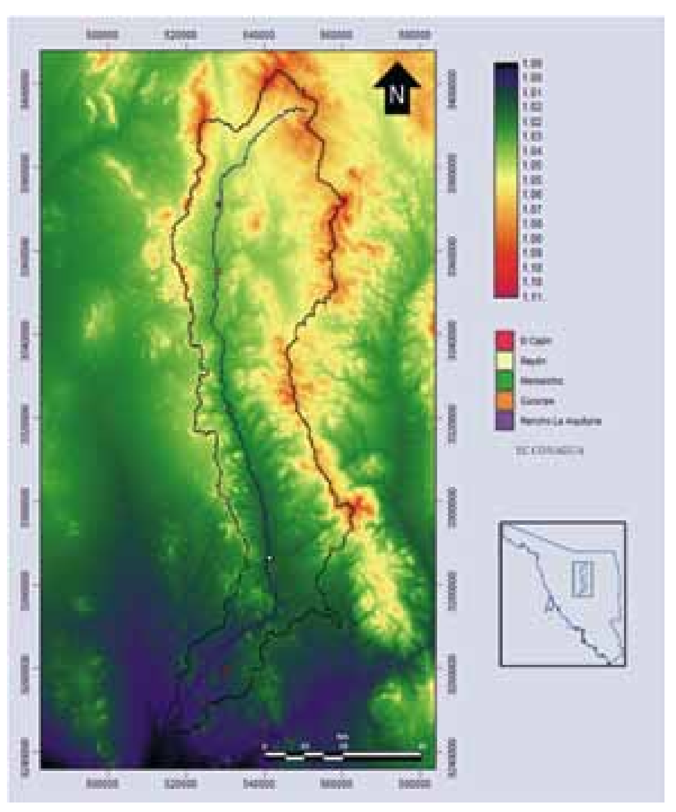


Figura 11. Modelo de disponibilidad de humedad de la cuenca del Río San Miguel, Sonora, México.

## Mapa de zonas agroclimáticas

Finalmente, para definir las zonas agroclimáticas se establecieron los rangos de los valores para cada clase de las zonas de Temperatura (*T*) y Humedad disponible (*Hum*) (Tablas 2 y 3), lo cual derivó en la generación de los modelos de las zonas correspondientes a ambos parámetros climáticos (Figura 12), a partir de los cuales se hicieron los cruces de datos utilizando el subprograma de IDRISI, CROSSTAB [5], el cual hace una tabulación cruzada entre 2 imágenes con valores clasificados y genera como resultado una tercera imagen con las combinaciones posibles, remarcando las zonas agroclimáticas requeridas en el planteamiento del problema (Figura 13).

Tabla 2. Zonas TPA y sus rangos de valores

| No. de zona | Rango de TPA |
|---|---|
| 1 | 12-13.99 |
| 2 | 14-15.99 |
| 3 | 16-17.99 |
| 4 | 18-19.99 |
| 5 | 20-21.99 |
| 6 | 22-23.99 |

Tabla 3. Zonas de disponibilidad de humedad y sus rangos de valores

| No. de zona | Rango de disponibilidad de humedad |
|---|---|
| 1 | 0.98-0.99 |
| 2 | 1 |
| 3 | 1.01-1.05 |
| 4 | 1.06-1.11 |

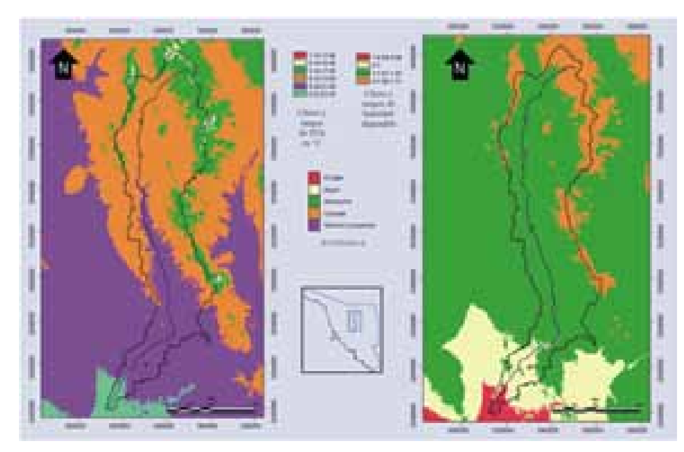


Figura 12. Zonas de *TPA* y disponibilidad de humedad de la cuenca del Río San Miguel, Sonora, México.

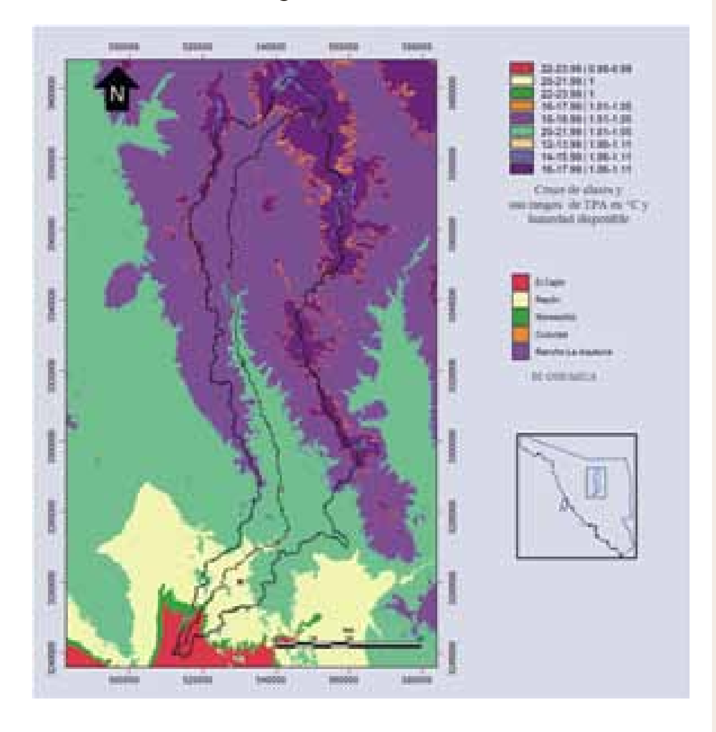
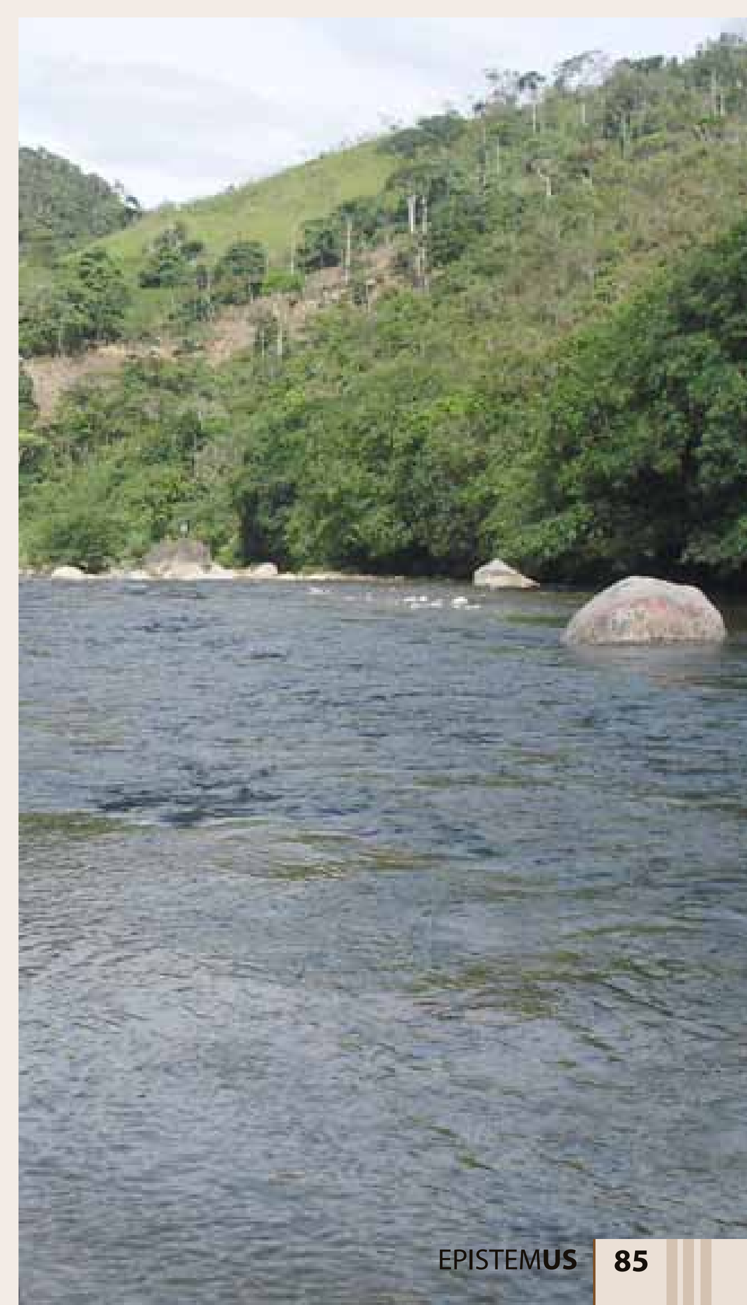


Figura 13. Mapa de zonas agroclimáticas de la cuenca del Río San Miguel, Sonora, México.

## BIBLIOGRAFÍA


1) Heras-Sánchez, M.C. (2013). *Análisis y procesamiento de geodatos para la generación de modelos temático-temporales de la cuenca del Río San Miguel, Sonora, México.* Tesis de Maestría en Ciencias-Geología. Universidad de Sonora.
2) SAGARPA-INIFAP (2012). *Zonificación agroclimática de Los Altos de Jalisco, México.* Folleto técnico no. 1. ISBN 978-607-425-785-4. 59 pp.
3) Pereyra, D., Cruz, D. G., Pérez, J. A., (2011). *La Evapotranspiración* Real (ETR) en la cuenca del Río La Antigua, Veracruz: estado actual y ante escenarios de cambio climático. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM ISSN 0188-4611, Núm. 75, 2011, pp. 37-50.
4) Anderson, D.R., Sweeney, D.J.,A y Williams, T.A. (2011). *Estadística para negocios y economía,* 11ª. Ed. Editorial Cengage Learning. ISBN 13:978-0-324-78324-7.
5) IDRISI (2008). *IDRISI Taiga Help System version 16.1.*
6) Pérez, C. (2009). Técnicas de análisis de datos con SPSS 15. Ed. Pearson Educación, S.A. ISBN 978-84-8322-601-8.

# SISTEMA FOTOVOLTAICO DE ILUMINACIÓN SOLAR

VÍCTOR HUGO BENÍTEZ BALTAZAR*, GUADALUPE ARACELI TORRES VALVERDE, LUIS ARMANDO GÁMEZ VALDÉZ, JESÚS HORACIO PACHECO RAMÍREZ

*El artículo es el resultado de un trabajo de investigación enfocado al uso de sistemas fotovoltaicos para la iluminación por medio de diodos emisores de luz tipo LED. Se busca reducir el consumo energético mediante la implementación de un sistema de iluminación basado en LED hasta en un 80%, donde la fuente primaria de energía es el Sol. Se demuestra la viabilidad de los sistemas solares de iluminación LED mediante la construcción de un prototipo. Los sistemas de iluminación fotovoltaicos son una alternativa real para ahorrar energía eléctrica e igualmente representan un campo de investigación abierto en muchos sentidos.*

Dr. Víctor Hugo Benítez Baltazar
Correo: vbenitez@industrial.uson.mx
M.C. Guadalupe Araceli Torres Valverde
Correo: atorres@industrial.uson.mx
Ing. Luis Armando Gámez Valdez
Correo: armando_gamezv@hotmail.com

M.C Jesús Horacio Pacheco Ramírez
Correo: jpacheco@industrial.uson.mx
Departamento de Ingeniería Industrial,
Universidad de Sonora

*Autor para correspondencia: Víctor Hugo Benítez Baltazar
Correo electrónico: vbenitez@industrial.uson.mx

Recibido: 25 de Enero de 2013
Aceptado: 14 de Noviembre de 2013
ISSN: 2007-4530





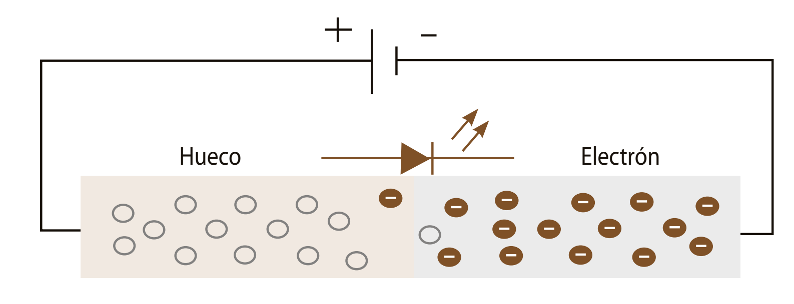
## INTRODUCCIÓN

En este trabajo se presentan las simulaciones y experimentos llevados a cabo en un proyecto de investigación para desarrollar un sistema de iluminación solar basado en diodos emisores de luz tipo *LED* (*Light-Emitting Diode*), por sus siglas en inglés, con el fin de hacer un uso eficiente de la energía, contribuyendo al cuidado del medio ambiente y aprovechando una fuente energética inagotable que no ocasiona contaminación.

Actualmente la tecnología de las energías renovables todavía se encuentra en una etapa de desarrollo (1). En particular para la energía solar fotovoltaica, el desarrollo se centra principalmente en mejorar su eficiencia y garantizar un almacenamiento adecuado de la energía producida (2). El modelo energético actual, a base de combustibles fósiles como principal fuente, genera un gran impacto ambiental y no es sustentable (7).

## DIODOS EMISORES DE LUZ

Uno de los elementos fundamentales de este proyecto lo constituye la tecnología *LED*, cuyo funcionamiento se describe a continuación. La emisión de luz debida a la inyección de electrones en un semiconductor, es uno de los hechos más notables en la tecnología moderna de semiconductores. La luz emitida en este caso procede de la recombinación electrón-hueco en un semiconductor (Figura 1). Cuando un electrón se recombina, cae desde un nivel de alta energía, a su estado neutro y se obtiene luz de una longitud de onda correspondiente a la diferencia de niveles de energía asociada con esta transición.



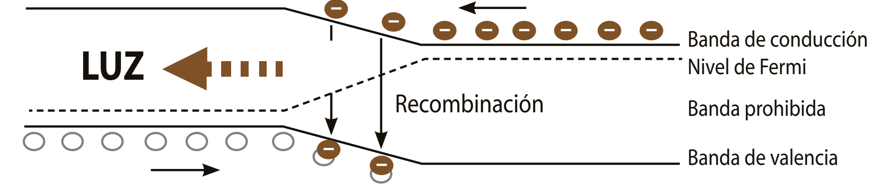




Figura 1. Luz emitida por la recombinación electrón-hueco.

El diodo entra en funcionamiento cuando polariza directamente la unión p-n, es decir, el polo positivo de la fuente conectado al ánodo del diodo y el polo negativo debe conectarse al cátodo del diodo, esto genera una corriente eléctrica, provocando una recombinación de huecos y electrones con el paso de la corriente.

## ENERGÍA SOLAR EN SONORA

Sonora cuenta con una media de 320 días en el año con exposición solar y la región ha sido señalada por académicos, investigadores y especialistas en energías renovables como una gran oportunidad de explotación de un nicho de negocio incipiente en el país (Figura 2).

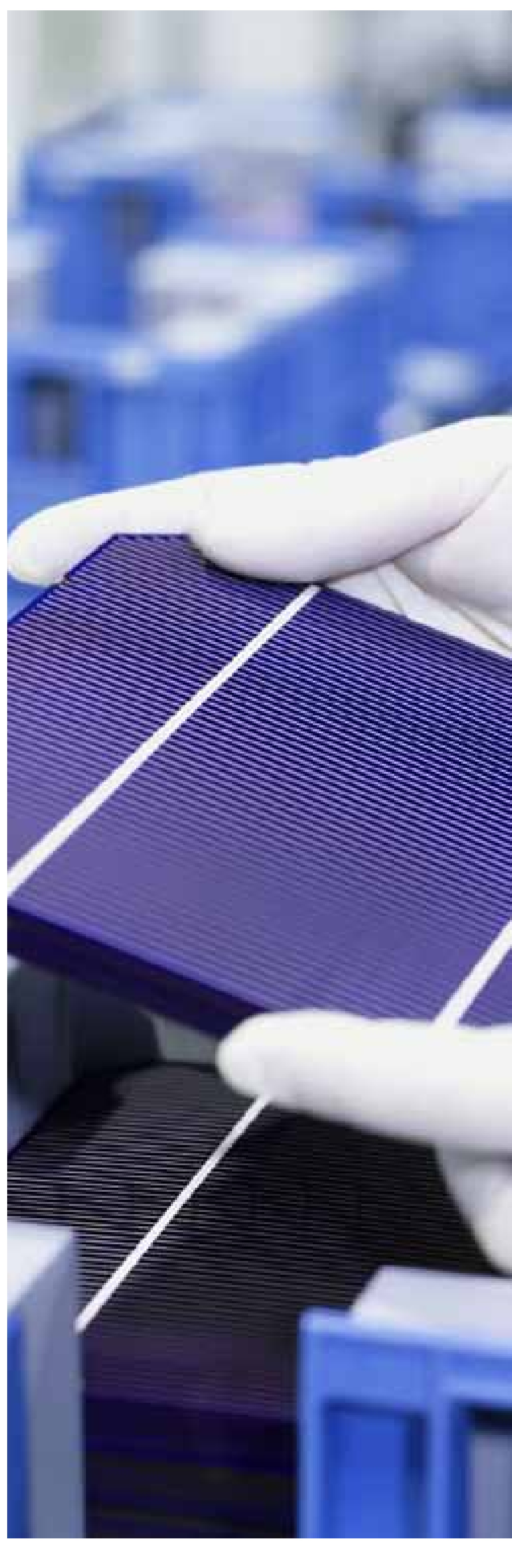







Figura 2. Radiación solar en México (http://solmart.com.mx/que-es-energia-solar).

Se usan diferentes unidades para expresar el valor de la insolación de un lugar, la más conveniente es el Kilowatt hora por metro cuadrado (*KWh/m²*). La insolación es medida en horas de Sol efectivas. Una hora de máxima luz solar recibida por una celda equivale a una hora de Sol efectivo. Los fabricantes de páneles fotovoltaicos determinan la máxima potencia eléctrica de salida usando una fuente con una potencia luminosa de 1 *KW/m²*. Este valor, conocido con el nombre de *SOL*, se ha convertido en un estándar para la industria, facilitando la comparación de paneles de distintos orígenes. Se define $1\ SOL = 1\ KW/m^2 = 100\ miliwatts/cm^2$

La radiación que es dispersada por la atmósfera se conoce como radiación difusa y la que llega a la superficie de la tierra sin haber sufrido alteración en su trayectoria lineal desde el disco solar, se llama radiación directa. La insolación es un parámetro clave en el diseño de sistemas basados en energía solar. Los factores principales que afectan la insolación sobre una superficie captadora son las condiciones climáticas y el ángulo de la superficie captadora con respecto a la posición del Sol.

## EL FENÓMENO FOTOVOLTAICO

Cuando la luz incide sobre un semiconductor, el bombardeo de los fotones libera electrones de los átomos de silicio creando dos cargas libres, una positiva y otra negativa. El equilibrio eléctrico de la unión p-n se ve alterado por la presencia de estas nuevas cargas libres. Si en el semiconductor se conectan dos cables (uno por cada zona), se verifica la existencia de un voltaje entre los mismos (Figura 3).

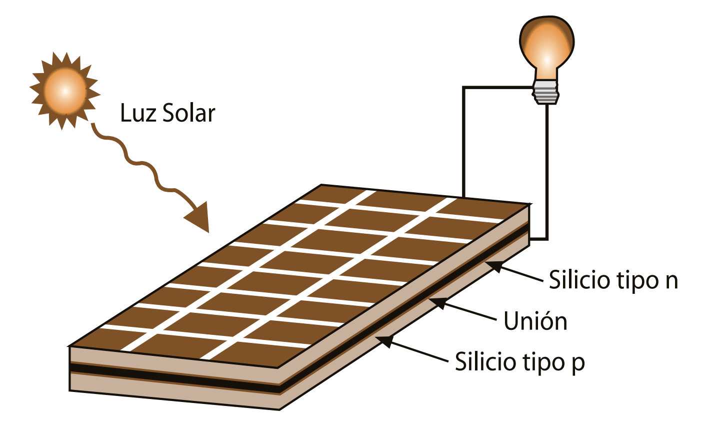



Figura 3. Celda fotovoltaica con carga eléctrica.

El voltaje de salida de un panel fotovoltaico es de corriente continua, hay un lado positivo y uno negativo. En un instante determinado, la potencia eléctrica proporcionada por la celda fotovoltaica está dada por el producto de los valores instantáneos del voltaje y la corriente de salida.

## EFICIENCIA DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

La eficiencia de un sistema fotovoltaico depende de la eficiencia de sus componentes, la figura 4 muestra el mejor caso de eficiencia existente de los componentes en la actualidad (3). Con la adición de cada componente se ocasiona más pérdida, haciendo que un sistema conectado a la red sea más eficiente que uno aislado con almacenamiento de energía.

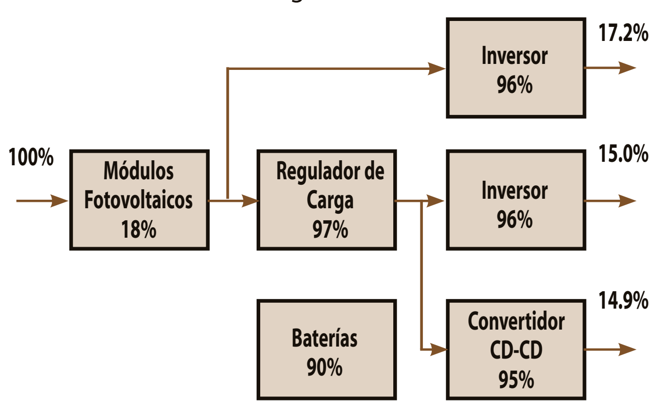



Figura 4. Eficiencia de un sistema fotovoltaico.

Se observa que el componente más crítico del sistema es el panel fotovoltaico con una eficiencia muy baja la cual es afectada por las condiciones de operación. Dado que no es posible actuar sobre las condiciones climáticas para mejorar la eficiencia del panel, surge la opción de corregir la orientación de los paneles con respecto al Sol, obteniéndose un incremento, en condiciones de laboratorio, de la eficiencia hasta de un 42.8%, pero con la utilización de un seguidor solar (4).

## DESARROLLO

Para llevar a cabo la investigación es necesario conocer a priori la posición aparente del Sol. Para tal fin se empleó la herramienta *Sun Earth Tools* bajo diferentes días del año, se indica la trayectoria aparente del Sol en la figura 5.

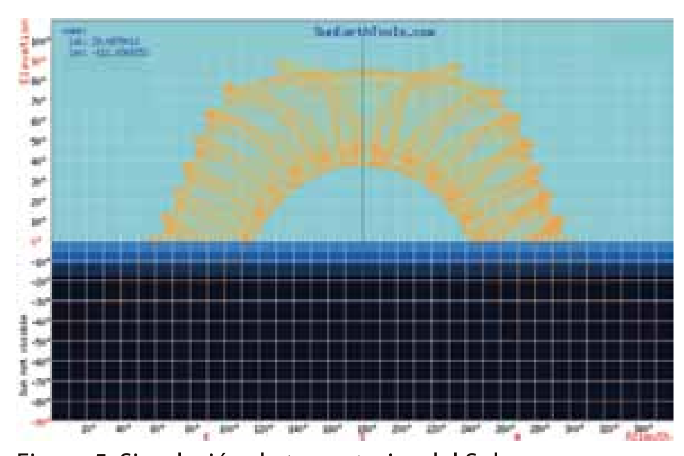


Figura 5. Simulación de trayectorias del Sol.

La prueba de simulación se realizó para la ciudad de Hermosillo, el ángulo de elevación del Sol oscila entre los 40º y 80º aproximadamente durante el transcurso del año. Se debe tomar en cuenta que los grados de elevación de la tabla 1, resultado de la simulación, son respecto a la horizontal y no del panel.

Tabla 1. Coordenadas de la ubicación geográfica del panel fotovoltaico.

| Zona horaria | GTM-7 | |
|---|---|---|
| Latitud | Norte | 29º 5′ 16.443″ |
| Longitud | Oeste | 111º 2′ 12.9294″ |

## DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE INCLINACIÓN

La siguiente etapa del proyecto consistió en determinar el impacto del ángulo de elevación ideal del panel y corroborarlo con el sugerido por el *NREL* (*National Renewable Energy Laboratory*) (5) que consiste en sumar 15º a la latitud donde se encuentre el panel para estipular el ángulo de inclinación. El 4 de junio se realizó el experimento, con una elevación del panel aproximada de 80º y 12:30 horas, dado que el Sol tiene cerca de 180º de azimut.

Para obtener el ángulo idóneo y el recomendado, en el cual los rayos del Sol formen una perpendicular con el plano del panel, calcular:

- Ángulo ideal: *180º - 80º - 90º = 10º*
- Ángulo recomendado por el *NREL*: *29º + 15º = 44º*



Las figuras de la 6 a la 9 exhiben las mediciones de corriente y voltaje para esos ángulos.



Figura 6. Prueba de corriente ($I_{SC}$)
Elevación de 10º con un resultado de 3.17 A



Figura 8.Prueba de corriente ($I_{SC}$)
Elevación de 44º con un resultado de 2.37 A



Figura 7. Prueba de voltaje ($V_{OC}$)
Elevación de 10º con un resultado de 18.85 V



Figura 9. Prueba de voltaje ($V_{OC}$)
Elevación de 44º con un resultado de 18.70 V

Como se observa en las imágenes del experimento se llega a la conclusión de que la radiación directa es la que produce amperaje y la radiación difusa el voltaje. Mientras que el ángulo de inclinación induce un cambio significativo en la corriente, no así en el voltaje.

$$3.17\ A - 2.37\ A = 0.80\ A$$
$$(0.80A / 3.17A)*100 = 25.23\ \%$$

$$18.85\ V - 18.70\ V = 0.15\ V$$
$$(0.15V / 18.85V)*100 = 0.79\ \%$$

Una vez terminada la experimentación, se realizan proposiciones basadas en la simulación consistentes en establecer un ángulo sin corrección (fijo), dos y cuatro acciones de corrección del ángulo durante el año; sin dejar atrás que entre más ajustes, mayor eficiencia dará el panel.

## RECOMENDACIONES DE AJUSTE DE ÁNGULO

### Ángulo fijo

En base a los grados de elevación del Sol que oscilan entre los 40º y los 80º aproximadamente (Figura 10), correspondientes a los meses de enero y junio en sus puntos mínimos y máximos de elevación, la mitad de la trayectoria está en los 60º, que no son los mismos grados del panel:

$$180º - 60º - 90º = 30º$$

Así, la primera recomendación de ángulo fijo es 30º de acuerdo a la simulación hecha con la herramienta *Sun Earth Tools*.

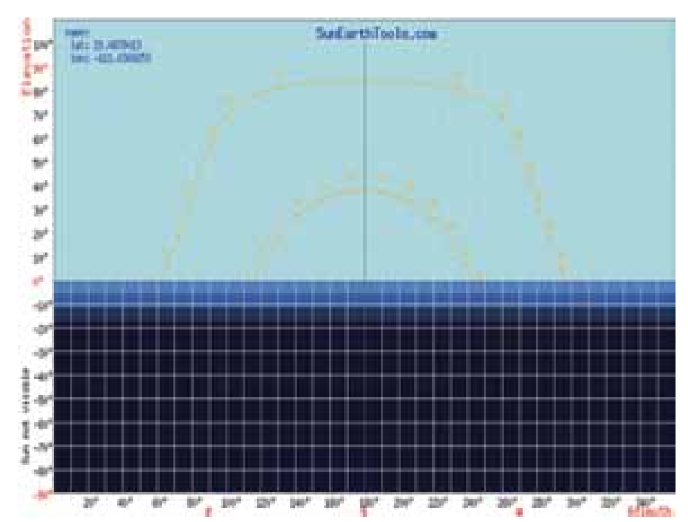


Figura 10. Puntos mínimos y máximos de elevación en enero y junio.

## Dos ajustes de ángulo

En la recomendación previa de ángulo fijo se decidió establecer 60º porque es la mitad de entre los mínimos y máximos valores y justamente poder aprovechar lo mejor posible la captación solar. Ahora en la figura 11, existen 3 trayectorias en las que se recomendará ajustar el panel al centro de cada una de ellas, quedando 50º y 70º por lo que:

$$180º - 50º - 90º = 40º$$
$$180º - 70º - 90º = 20º$$

Se tienen dos ángulos, uno de 40º y otro 20º para la inclinación del panel. Estos ajustes se harán cada seis meses, en los primeros días de octubre y abril.

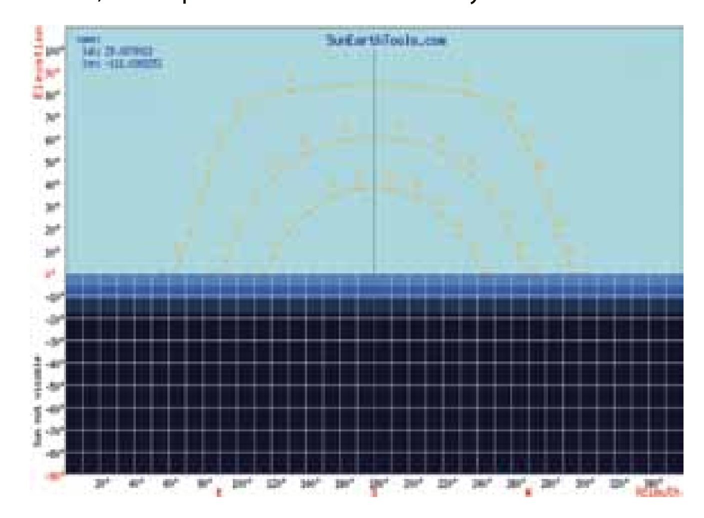


Figura 11. Tres trayectorias solares.

## Cuatro ajustes de ángulo

En la sugerencia de cuatro ajustes de ángulo durante el año, las trayectorias se muestran en la figura 12. Se plantea poseer cuatro ocasiones donde los rayos del Sol lleguen perpendicularmente al plano del panel, teniendo mayor generación de energía. Para lograr esto, se obtendrán cuatro ángulos en el centro entre cada trayectoria entonces:

$$180º - 50º - 90º = 40º$$
$$180º - 80º - 90º = 10º$$
$$180º - 70º - 90º = 20º$$
$$180º - 40º - 90º = 50º$$

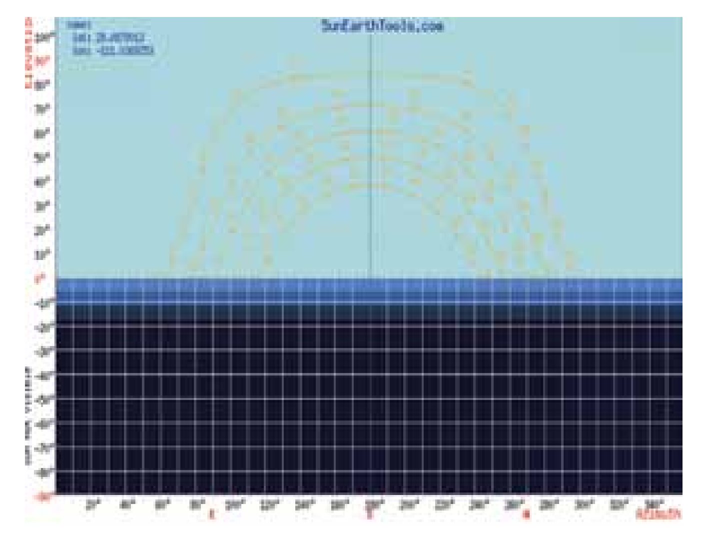


Figura 12. Cinco trayectorias solares.

La tabla 2 reúne las sugerencias de ajuste de ángulo de elevación del panel fotovoltaico para la ciudad de Hermosillo.

Tabla 2. Sugerencias de posicionamiento del ángulo de elevación del panel.

<table>
<tr><th>Mes</th><th>Cuatro ajustes</th><th>Dos ajustes</th><th>Fijo</th></tr>
<tr><td>Enero</td><td rowspan="3">40º</td><td rowspan="3">40º</td><td rowspan="12">30º</td></tr>
<tr><td>Febrero</td></tr>
<tr><td>Marzo</td></tr>
<tr><td>Abril</td><td rowspan="3">10º</td><td rowspan="6">20º</td></tr>
<tr><td>Mayo</td></tr>
<tr><td>Junio</td></tr>
<tr><td>Julio</td><td rowspan="3">20º</td></tr>
<tr><td>Agosto</td></tr>
<tr><td>Septiembre</td></tr>
<tr><td>Octubre</td><td rowspan="3">50º</td><td rowspan="3">40º</td></tr>
<tr><td>Noviembre</td></tr>
<tr><td>Diciembre</td></tr>
</table>

Cálculos de generación de potencia del panel fotovoltaico

Después de determinar las horas solares pico durante un año, a continuación se expone la potencia pico que generará el panel fotovoltaico en la ciudad de Hermosillo diariamente para cada mes (Tabla 3) con los datos de insolación global de México (6).

Tabla 3. Watts-hora pico generados por el panel.

| Mes | KWh/m² por día | Horas solares pico | Watts-hora promedio |
|---|---|---|---|
| Enero | 4.0 | 4.0 | 212.0 |
| Febrero | 4.6 | 4.6 | 243.8 |
| Marzo | 5.4 | 5.4 | 286.2 |
| Abril | 6.6 | 6.6 | 349.8 |
| Mayo | 8.3 | 8.3 | 439.9 |
| Junio | 8.6 | 8.6 | 455.8 |
| Julio | 6.9 | 6.9 | 365.7 |
| Agosto | 6.6 | 6.6 | 349.8 |
| Septiembre | 6.7 | 6.7 | 355.1 |
| Octubre | 6.0 | 6.0 | 318.0 |
| Noviembre | 4.7 | 4.7 | 249.1 |
| Diciembre | 3.9 | 3.9 | 206.7 |
| Mínimo | 3.9 | 3.9 | 206.7 |
| Medio | 6.0 | 6.0 | 318.0 |
| **Máximo** | 8.6 | 8.6 | 455.8 |

Nota. El panel fotovoltaico modelo VLX-53 genera 53 Watts pico si la insolación es de 1 *KWh/m²*

En la figura 13 se constituye el resultado completo del trabajo de investigación, se exhiben los componentes del sistema conectados; una sección del sistema cuenta con una protección de sobrecarga con fusibles para evitar daños al *LED*.



Figura 13. Sistema fotovoltaico de iluminación solar.



## CONCLUSIONES

En nuestros días la preocupación más apremiante a la comunidad científica es el ahorro de energía en el consumo. La mayor problemática radica en el almacenamiento y no en sí la fuente, ya que existen varias alternativas energéticas. Se conoce que gran parte de la energía eléctrica la consumen los sistemas de iluminación. Puede decirse, entonces, que existe la necesidad de desarrollar nuevos sistemas de iluminación que mejoren las características de desempeño de los actuales.

Con la aparición de la tecnología *LED*, inició una línea de investigación encaminada a buscar otra forma de hacer más eficiente el uso de la energía en los sistemas de iluminación. Recientemente la tecnología de estado sólido tuvo una revolución trascendental debido a la creación del *LED* de potencia, dispositivo que presenta una alta eficiencia permitiendo competir con algunos sistemas de iluminación actuales y además tiene una vida útil mayor. Los sistemas de iluminación con *LED* de potencia son una real alternativa para ahorrar energía eléctrica, siendo aún objeto de investigación con diversas vertientes.

La investigación fue enfocada principalmente en el panel fotovoltaico para acceder a un panorama general de su funcionamiento bajo diferentes condiciones de operación, características eléctricas y principio de funcionamiento. El uso y aplicación del panel fotovoltaico, podrá entonces diseñarse de manera más objetiva para garantizar el funcionamiento del sistema de iluminación con una mayor eficiencia y sin problemas de abastecimiento de energía eléctrica.

## BIBLIOGRAFÍA


1) Hollander, J.M. (2003). *The Real Environmental Crisis*. University of California Press.
2) Luque, A., Hegedus, S. (2003). *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*, John Wiley & Sons.
3) Sandia National Laboratories (2007). *Photovoltaic Systems Research & Development*.
4) Universidad de Delaware (2007). *Proyecto "Célula Solar de Muy Alto Rendimiento (VHESC)"*.
5) *Solar Radiation Data Manual for Flat-Plate and Concentrating Collectors* (2012). Recuperado el 1 de Junio de 2012 en: http://rredc.nrel.gov/solar/pubs/redbook/HTML/interp.html.
6) Almanza S., R., Cajigal R., E., Barrientos A.,J. (1997). *Actualización de los Mapas de Irradiación Global Solar en la República Mexicana* y *Reportes de Insolación de México*. Southwest Technology Development Institute, NMSU, 1999.
7) Suárez, R.V., Ugalde, J.V. (2006). *Alternativas Energéticas para el Siglo XXI*, UNAM.

# ARREGLO DE CÍRCULOS, ESPIRALES Y REMOLINOS DE NEWGRANGE

RAÚL PÉREZ ENRÍQUEZ*

*Esa tarde, a tan solo tres días del evento esperado, la salida del Sol de invierno, los guías hacían los preparativos para la observación. Durante años habían estado construyendo, aquí en Newgrange, en este paraje del Valle de Boyne, el observatorio. Un par de generaciones de vecinos de este lugar habían logrado construir un pasaje de rocas alineada, terminando en una cámara en cruciforme y, con el objeto de oscurecerla, la habían cubierto de tierra hasta formar un gran montículo que a la par de otros dos (Knowth y Dowth), se asentaban en el sitio cercano al Río Boyne. Ese pasaje oscuro nos permitiría observar el paso del Sol. Pacientemente, estábamos a la espera de que los rayos del Sol penetraran al Templo y recorrieran los 19.6 metros hasta su fondo. La pared de la cámara estaba 4.4 metros más allá.*

DR. RAÚL PÉREZ-ENRÍQUEZ
DEPARTAMENTO DE FÍSICA, UNIVERSIDAD DE SONORA
CORREO: RPEREZE@CORREO.FISICA.USON.MX

*Autor para correspondencia: Raúl Pérez-Enríquez
Correo electrónico: rpereze@correo.fisica.uson.mx
Recibido: 26 de Octubre de 2013
Aceptado: 11 de Noviembre de 2013
ISSN: 2007-4530



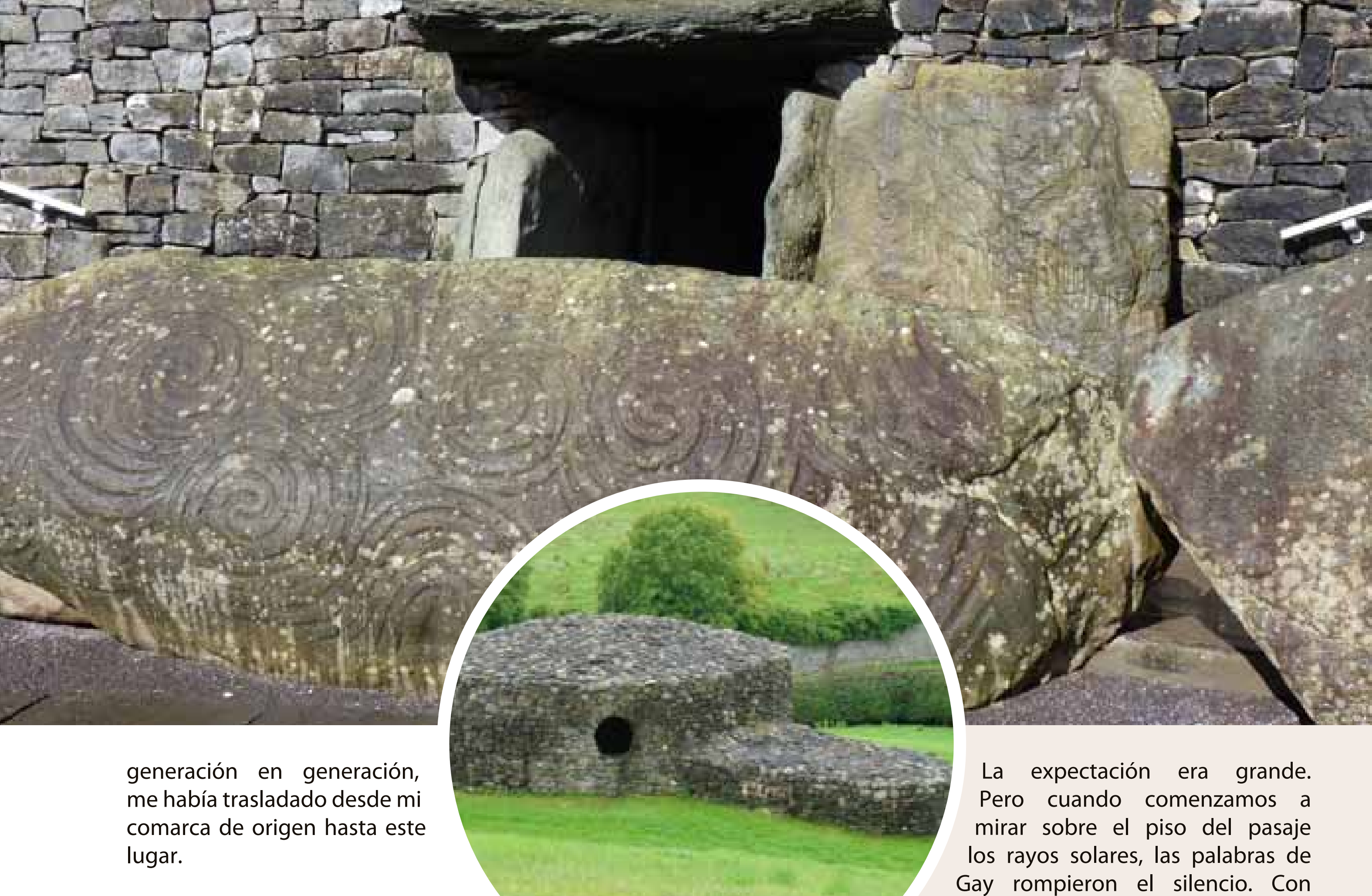
En efecto, mientras uno de los guías trabajaba meticulosamente en la piel de venado, raspándola y perforando en ella los orificios en donde se colocarían los anillos, otro terminaba de pulir las pequeñas piezas de roca que con un orificio en el centro, permitirían su utilización como estenotopos.

La algarabía de la comunidad alegraba y acompañaba ese trabajo de los guías. Ya unos de nosotros les llevábamos sus alimentos, ya otros las rocas ásperas que les permitían concentrarse en su labor si distracciones y contando con todo lo necesario a la mano. Devon, el guía que preparaba las pieles, me había explicado cómo le haría para colocar en los orificios que practicaba, las pequeñas rocas perforadas de diferentes diámetros que Gay fabricaba. La idea era ubicar por encima de la entrada del pasadizo (en la "roof box" o caja techo) la piel con orificios para que el Sol del alba del día más corto del año se visualizara en el fondo. Los artesanos grabadores quienes, también, preparaban sus herramientas para el trabajo que tendrían, serían los encargados de capturar en la piedra las imágenes de ese Sol naciente.

Las pequeñas rocas tenían perforaciones de diversos diámetros porque no tenían la certeza de con cual lograrían el mejor efecto. Ya en el pasado, el cambio de piedra les había permitido dejar pasar suficiente luz para la observación, pero sabían que si éste era demasiado grande la visión provocaría, solamente, una cámara plenamente iluminada. Ese efecto con duración de unos cuantos minutos los había emocionado; sin embrago, los más viejos de la comunidad platicaban cómo al observar el paso de los rayos del Sol por entre el follaje de los árboles se había percatado de que lo que veían en el suelo eran pequeños círculos entrelazados; incluso, recordaban que cuando algún eclipse ocurría, ellos habían podido ver la desaparición de disco solar por la interposición de la Luna.

Los más jóvenes se arremolinaban alrededor de la entrada, como queriendo ser los elegidos para ser testigos de la ceremonia de observación que se preparaba.

Gracias a la intervención de Julieta, yo estaba entre los pocos que participaríamos del evento. Yo era el visitante que instigado por lo relatos difundidos y transmitidos de

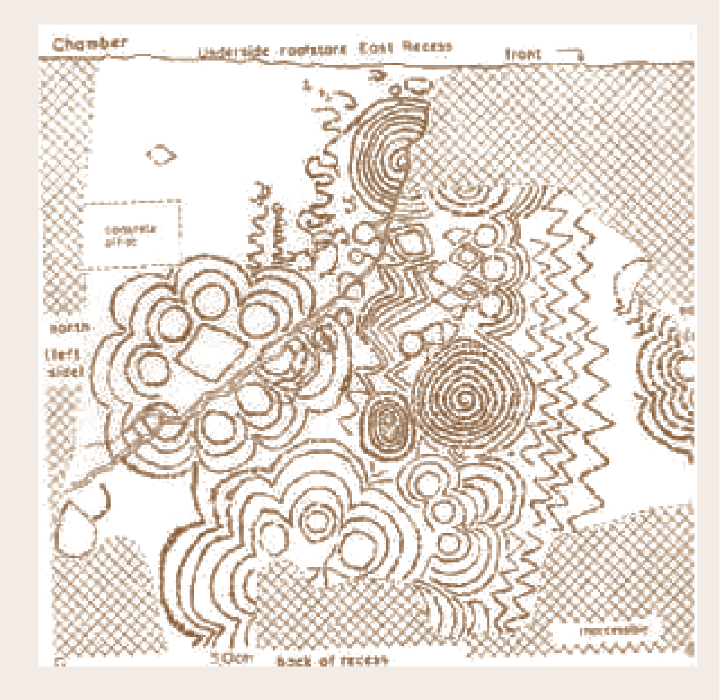


generación en generación, me había trasladado desde mi comarca de origen hasta este lugar.

Esa noche casi no pude dormir, la inquietud y nerviosismo me tenían en vela. Sabía que muy pronto me llamarían para estar desde la madrugada, pendiente de la salida del Sol. Y así fue. Horas antes del alba, los guías pronunciaron mi nombre y me dieron las instrucciones finales. Al acercarme a la puerta de entrada de aquel gran montículo con forma de riñón, vi cómo Devon colocaba la piel de venado esmeradamente preparada, con los ocho anillos (piedrecillas con orificio) que Gay le había hecho llegar. Pasé junto a él y me miró con satisfacción y con una mueca que interpreté como "que te vaya bien", me hizo espacio para entrar; la caja-techo que cubría con la piel estirada debería quedar perfecta para impedir la entrada de luz no deseada. Solamente éramos tres jóvenes los que llegamos hasta la cámara cruciforme; un par de señores se acurrucaban junto a nosotros para tener la oportunidad de participar de la ceremonia y de la observación. Yo era el único, creo, que no tenía algo encomendado a realizar. Sólo esperaría a hacer las observaciones y, a lo más, debería de pasar alguno de los instrumentos de trabajo a Sam, el grabador de piedra.

Cuando el día comenzó a clarear, un silencio profundo se apoderó del lugar. Los gritos y movimientos que antes alcanzábamos a oír, se detuvieron por completo. La expectación era grande. Pero cuando comenzamos a mirar sobre el piso del pasaje los rayos solares, las palabras de Gay rompieron el silencio. Con la respiración entrecortada pude apreciar la llegada de la imagen del Sol al fondo de la cámara; sobre la pared de piedra todos pudimos apreciar un arreglo de discos luminosos, círculos nítidos con pequeñas manchas oscuras; por fin, el aire salió de nuestros pechos en un suspiro que duró varios segundos. Tan pronto como Gay le indicó a Sam que iniciara su registro, él se dio a la tarea de rescatar en la roca del techo de la cámara lo que aparecía ante nuestros ojos. Más tardó en hacerlo que lo que a Devon le tomó remplazar los anillos por otros con un orificio mayor. Fijos como estaba en la piel restirada, los mantuvo firmes para permitir que los rayos del Sol pasaran por ellos y formaran en la roca otra imagen espectacular. Sólo ese otro anillo fue el que se alcanzó a instalar en el portal de la entrada, antes de que el Sol en su camino ascendente en el cielo, desapareciera y todo quedara a oscuras.

El sudor corría por mi frente y coyunturas, empapando mi cuerpo… Mi mente no quería regresar del embeleso que esa visión del Sol, totalmente nueva para mí, me había producido. Fue Gay con unas palmaditas en mi espalda quien me devolvió a la realidad. Salimos cautelosamente y dejamos a Sam, terminando de grabar su mensaje: el mensaje que el Sol había transmitido.




El bullicio a las afueras de la gruta acababa de reanudarse y los más pequeños de la comunidad corrían y giraban alrededor de los guías. Todo volvió a quedar en silencio cuando desde una gran roca Gay comenzó a describir el fenómeno que habíamos presenciado. Fue elocuente al describir el trabajo de Sam y la forma en que más adelante ya con más calma, se permitiría a todos la observación del registro. Fuertes vítores se escucharon cuando por fin, terminó su discurso. Sólo entonces, Devon tomo la palabra y prometió que para el siguiente Solsticio de Invierno nos reuniríamos de nuevo para vivir esta gran experiencia.

Cuando la calma regresó al Newgrange, me acerqué al guía Devon para preguntarle sobre los motivos que la comunidad había tenido para asentar en aquel valle el Templo-Observatorio. Del largo discurso que sobre la adoración del Sol y la Luna que por generaciones habían profesado, logré entender cómo con la ayuda de un gnomon y una observación meticulosa de sus sombras a lo largo del año, ellos, sus antepasados habían encontrado ese lugar en el que la diferencia de sombras del Solsticio de Invierno y del Solsticio de Verano (el factor gnomónico, pensé yo) medía lo mismo que cuatro veces la altura del gnomon.

Yo me quedé cavilando; recordando lo que la gente de Stonehenge me había dicho: "El factor gnomónico aquí es tres, ¡sí, 3 exactamente!". No lo podía creer. Ambos grupos tenían a la observación del Sol como una actividad fundamental y contemplaban y establecían relaciones entre las sombras y los gnómones que las producían de manera similar. ¿Será algo aprendido o alguien se los enseñó?, me pregunté.

# XXIV Semana de Investigación y Docencia en Matemáticas

50 Aniversario de la Licenciatura en Matemáticas




del 3 al 7 de marzo de 2014
Hermosillo, Sonora
www.semana.mat.uson.mx






# Año Internacional de la Cristalografía

# Universidad de Sonora 2014

**Invierno:**

-Curso-Taller
Introducción al método
Rietveld

**Primavera:**
-Taller de Mineralogía para niños
3er Año de primaria

-Curso-Taller de
crecimiento de cristales

-Taller de crecimiento de cristales
para jóvenes (secundaria y prepa)

-Curso de cristalografia y mineralogia

**Verano:**

-Taller de mineralogía
para niños de 5º y 6º Año
de primaria

-Ciclo de conferencias sobre
cristalografía

**Otoño:**

-Curso de difractometría
-Exposición de meteoritos
-Curso de Mineralogía
para todo público

EXPOSICIONES DE MINERALES

VII Congreso nacional de cristalografía SMCr

4 al 9 de Mayo Villahermosa Tabasco

L Aniversario de la Física en Sonora

Informes:
Dr. Ricardo Rodríguez
mijangos@cifus.uson.mx




"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

# Universidad de Sonora

## UNIDAD REGIONAL CENTRO
## DIVISIÓN DE INGENIERÍA

# Posgrados incluidos en el Padrón Nacional de Posgrados de Calidad de CONACYT

## Programa de Doctorado y Maestría en Ciencia de Materiales

**Objetivos del Programa**

El objetivo general del programa es formar personal de alto nivel académico y con autonomía para llevar a cabo en forma eficiente las actividades de generación, aplicación y difusión de conocimiento de frontera en el área de Ciencia de Materiales.

Los objetivos específicos son contribuir a la formación de los recursos humanos especializados que el país requiere en Ciencia de Materiales. Desarrollar investigación de alto nivel comprobada a partir de publicaciones científicas de calidad. Participar de manera efectiva en la resolución de problemas tecnológicos que se presenten en el medio social y productivo de la región y el país, en el ámbito de las líneas de investigación del programa.

## Programa de Doctorado y Maestría en Ciencias de la Ingeniería: Ingeniería Química

**Objetivos del Programa**

Formar académicos y profesionales del más alto nivel en ingeniería y sus campos afines, útiles a la sociedad. Promover la práctica profesional de calidad en ingeniería y campos afines. Contribuir a la solución de problemas nacionales. Realizar investigación para generar nuevos conocimientos, métodos y criterios en ingeniería y sus campos afines. Desarrollar tecnología.

## Programa de Posgrado en Ingeniería Industrial

**Objetivos del Programa**

El objetivo general es formar recurso humano orientado a entender, analizar y resolver problemas complejos dentro de organizaciones dedicadas a la producción de bienes o servicios.

Los objetivos específicos son profundizar en el estudio de áreas de interés de la Ingeniería Industrial, acorde a las necesidades que se deseen resolver por parte de la institución y de la sociedad. Hacer énfasis en la aplicación del conocimiento y la tecnología para resolver problemas que afectan la calidad y productividad de las organizaciones que producen bienes o prestan servicios. Impulsar la mejora de la eficiencia y eficacia de las organizaciones sobre todo aquellas consideradas como pequeñas y medianas (PYMES) que permita impulsar el desarrollo del estado y del país.

## Programa de Posgrado en Ciencias de la Ingeniería: Ingeniería Civil

**Objetivos del Programa**

El objetivo general del programa es formar personal del más alto nivel académico y profesional en el campo de la Construcción y la Valuación, capaz de realizar investigación para generar nuevos conocimientos o desarrollos que contribuyan a la solución de problemas de interés regional y nacional.

## Programa de Especialidad en Desarrollo Sustentable

**Objetivos del Programa**

Formar profesionales con una perspectiva integral de las áreas técnica, administrativa, económica, social, ambiental y ética de acuerdo a los modelos modernos del desarrollo

## Programa de Maestría en Sustentabilidad

**Objetivos del Programa**

El objetivo general del programa de maestría es coadyuvar con la sociedad en la transición hacia estilos de vida más sustentables, mediante la formación de profesionistas con una perspectiva holística y ética; con los conocimientos y habilidades para planear, implantar y evaluar intervenciones que conlleven a prevenir, eliminar y/o reducir los riesgos e impactos ambientales y ocupacionales en el área de su profesión y/o desarrollo en beneficio de su comunidad.



**http://www.investigacion.uson.mx/programas-posgrado.htm**

**DIVISIÓN DE INGENIERÍA**

Rosales y Blvd. Luis Encinas, Edificio 5M, Hermosillo, Sonora, México, C.P. 83000, Tel. (662) 259-21-57 y 259-21-58




# Universidad de Sonora

## UNIDAD REGIONAL CENTRO

## DIVISIÓN DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

## Posgrados incluidos en el Padrón Nacional de Posgrados de Calidad de CONACYT

### PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS EN MATEMÁTICAS

**Objetivos del Programa**

Formar personal con alto nivel académico, para el estudio autónomo y comprensión de los resultados y avances de la matemática moderna y sus aplicaciones, con capacidad para realizar labores de asesoría y apoyo matemático en proyectos de investigación y desarrollo en disciplinas de carácter científico y tecnológico. A nivel de doctorado, además de los anteriores, el objetivo principal es capacitar para la realización de investigación original e independiente en el campo de las matemáticas y sus aplicaciones.

### PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN MATEMÁTICA EDUCATIVA

**Objetivos del Programa**

El propósito de este programa académico es formar Especialistas en Matemática Educativa, cuya práctica profesional como docentes sintetice una serie de competencias éticas, ideológicas, de conocimiento teórico y sentido práctico, para atender los problemas de la educación matemática escolar en los ámbitos de la investigación, el desarrollo docente y la proyección social de sus egresados.

### PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS EN FÍSICA

**Objetivos del Programa**

Preparar personal con un profundo conocimiento de las leyes fundamentales de la Física, para ejercer labores docentes a nivel licenciatura, posgrado y especialidad. Capacitar personal para ejercer actividades asociadas a la generación de conocimiento en diferentes áreas de la Física. Formar personal con una alta capacidad de trabajo e innovación lo cual le permita incidir sobre la solución de aquellos problemas de su competencia relacionados con el sector productivo de la región y del país. Capacitar personal en la utilización eficiente de diverso equipo con un alto desarrollo científico y tecnológico. Desarrollar programas multidisciplinarios de investigación científica y tecnológica.

### PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS GEOLOGÍA

**Objetivos del Programa**

El objetivo general es el de formar Maestros en Ciencias de alto nivel de calidad y excelencia, capaces de participar en el análisis y solución de problemas geológicos tradicionales y de frontera, utilizando el método científico, y respondiendo con oportunidad a las necesidades del desarrollo científico y tecnológico del país. Se ofrece un espacio de formación de alto nivel académico en torno a la problemática derivada de tres grandes áreas de aplicación de las Ciencias de la Tierra como son: los yacimientos minerales, la geología regional, y la hidrogeología-geología ambiental. Con ello se pretende contribuir al fortalecimiento de la capacidad profesional y/o investigativa de los profesionales que se desempeñan en estas áreas del conocimiento.



**http://www.investigacion.uson.mx/programas-posgrado.htm**

**DIVISIÓN DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES**

Rosales y Blvd. Luis Encinas, Edificio 3K-1 Hermosillo, Sonora, México, C.P. 83000, Tel. (662) 259-21-53 y 259-21-54